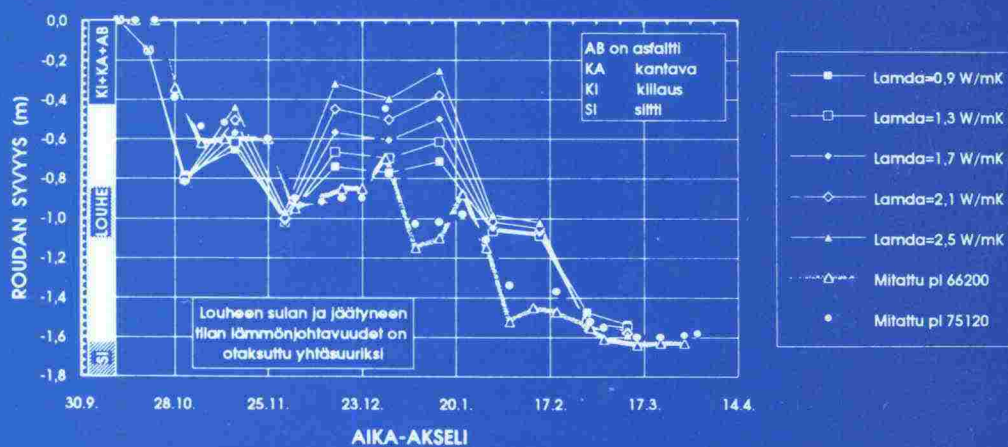


Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan

välillä Riihimäki P - Virala

LOUHEEN LÄMMÖNJOHTAVUUDEN VAIKUTUS LASKETTUUN ROUDAN SYVYYTEEN
VALTATIE 3 välillä RIIHIMÄKI P - VIRALA, PL 66200 ja PL 75120
Vertailutalven 1992-93 pakkasmäärä $F = 8660 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$



Tielaitoksen selvityksiä
59/1993

Heikki Onninen, Tapani Toivonen, Seppo Saarelainen

Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan

välillä Riihimäki P - Virala

Tielaitos
Geokeskus

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-8108-2
TIEL 3200184
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotemyynti
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Asiasanat routa, routanousu, routamitoitus

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan routanousun arviointiin perustuvan routamitoitusmenetelmän soveltuvuutta korkealuokkaisen tien päällysrakenteen routamitoitukseen. Menetelmää sovellettiin valtatie 3 routamitoituksessa välillä Riihimäki P - Virala. Alustava routamitoitus tehtiin tielaitoksen nykyistä mitoituskäytäntöä noudattaen. Routanousuun arviointiin perustuvaa mitoitusta varten tehtiin maastokartoitus, jossa suunnitelma-alue jaettiin osa-alueisiin routivuuden mukaan. Pohjamaan routanousuominaisuuksia tutkittiin tielinjalla tehtyjen routanousumittausten ja laboratoriossa tehtyjen routanousukokeiden avulla. Tieosa rakennettiin tehtyjen suunnitelmien mukaan ja otettiin käyttöön syksyllä 1992.

Tierakenteen routamitoituksen osuvuutta arvioitiin talven 1992 - 93 seurantamittausten avulla. Neljässä seurantapoikkileikkauksessa valtatiellä 3 mitattiin 1) roudan syvyyttä, 2) routanousua, 3) pohjaveden pinnan korkeutta, 4) tierakenteen ja pohjamaan lämpötiloja sekä 5) tierakenteen yläosan läpi siirtyvää lämpövirtaa. Lisäksi seurattiin tierakenteen 6) tiivyyttä ja vesipitoisuutta radiometrisillä mittauksilla. Kolmessa seurantakohteessa tien päällysrakenne oli ns. louherakenne (kokonaispaksuus joko 1520 tai 1920 mm) ja yhdessä maabetoni/sorarakenne (kokonaispaksuus 1320 mm). Toinen ohuista louherakenteista (1520) oli rakennettu moreenipenkereen päälle. Muissa seurantakohteissa pohjamaa oli silttiä.

Kenttähavaintoja verrattiin eri routaohjelmilla tehtyjen vertailulaskentojen tuloksiin (routanousu, roudan syvyys). Samassa yhteydessä arvioitiin maatytyteellä verhotun louhekerroksen toimivaa lämmönjohtavuutta.

Talvi 1992 - 93 oli leuto. Seurantakohteiden pakkasmäärä oli noin 8660 °Ch, joka vastaa noin kerran 20 vuodessa toistuvaa leutoa talvea. Routa ei kaikissa kohteissa tunkeutunut lainkaan pohjamaahan. Louherakenteiden kohdalla routa tunkeutui enimmillään 80...120 mm pohjamaahan. Näissä kohteissa ei mitattu merkittäviä routanousuja. Maabetoni/ sorarakennekohteessa routa ei läpäissyt 1320 mm paksua päällysrakennetta. Kohteessa mitattiin kuitenkin vähäistä routanousua (enimmillään 30 mm), jonka arvioidaan johtuvan routivasta rakennemateriaalista ja rakenteen puutteellisesta kuivatuksesta (tien luiskatäytöt padottanevat vettä).

Maatytyteellä verhotun louheen lämmönjohtavuutta arvioitiin vertaamalla talven 1992 - 93 havaittuja routasyvyyksiä laskemalla saatuihin routasyvyyksiin. Leudosta talvesta johtuen louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuuden laskennallinen arviointi on epätarkka ja tältä osin tutkimusta tulisi jatkaa. Vertailulaskentojen perusteella seurantakohteiden louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuudeksi saatiin arvo 1,4...1,5 W/m² ja sulan tilan lämmönjohtavuudeksi noin 1,1 W/m². Em. lämmönjohtavuudet ovat ns. toimivia lämmönjohtavuuksia, joissa on mukana mm. louheen sisältämän ilman tuulettumisen ja konvektion vaikutus. Stabiiliin lämpötilajakson aikana (helmikuussa 1993) tehtyjen lämpövirta- ja lämpötilamittausten mukaan louheen jäätyneen tilan toimiva lämmönjohtavuus on samoin suuruusluokkaa 1,4 W/m².

ABSTRACT

This report concerns the frost design of road pavement according to frost heaving on main road 3 between Riihimäki P - Virala. Preliminary pavement design was based on the current frost design method used in Finland. Frost penetration and frost heave were measured at four observation sites for the use in final design according to frost heave. Frost susceptibility of surface soils were determined by frost heave tests in laboratory, too. Using geological interpretation with results of field mapping (soil type, soil layers, groundwater level, environmental conditions) and soil classification tests, the planning area was divided in subareas with different frost susceptibility of surface soils.

The actual part of the main road 3 was designed and constructed under the years of 1988 - 92. In autumn 1992 four test cross sections of the road were instrumented for monitoring of 1) frost penetration, 2) frost heave, 3) groundwater level, 4) temperatures in road embankment and subsoil, 5) heat flux through the road embankment, and also 6) density and 7) water content of pavement structure and subgrade.

The subbase course consisted of large grained crushed rock at three test sites (with total structure thickness of 1520 mm at two sites, and 1920 mm at one test site) and of gravel at one test site (total structure thickness of 1320 mm). Subgrade consisted of silt at all the sites, except to one site, where the subgrade had been constructed using till soil.

The winter of 1992 - 93 was mild. Atmospheric freezing index was only 8660 °Ch. It corresponded to a mildest winter appearing at the location once in 20 years. Observed frost penetration was 80...120 mm greater than the total thickness (1520 mm) of structure constructed using large grained crushed rock. No significant frost heave was observed. Field observations of the frost penetration were compared to calculated frost depths. Best fit was found, when thermal conductivity of crushed rock layer was supposed to be follows: $\lambda_f = 1,4...1,5$ W/mK and $\lambda_u = 1,1$ W/mK. Thermal conductivity ($\lambda_f \approx 1,4$ W/mK) of crushed rock also resulted using heat flux values and temperatures in pavement structure, measured during a thermally stable time interval in February 1993.

ALKUSANAT

Tässä tutkimusraportissa esitetään tulokset ja yhteenveto niistä tutkimuksista, joita tehtiin valtatie 3 osuudella Riihimäki P - Virala suunnitteluvaiheessa 1989 - 1990, rakennusvaiheessa 1991 -1992 ja tieosan valmistusta talvella 1992 - 1993. Tutkimuksessa selvitettiin:

- miten korkeatasoisen tien pohjatutkimuksia tulisi tehdä ja kehittää, jotta routamitoitus routanousun mukaan voitaisiin tehdä
- millaisiin rakenteisiin tällä mitoitustavalla päädytään tielaitoksen suunnitteluohjeiden mukaisiin rakenteisiin verrattuna, ottaen huomioon tutkimustalven sääolot mitoitustilanteeseen verrattuna
- miten routamitoitettu rakenne routii

Lisäksi pyrittiin määrittämään louhekerroksen toimivaa lämmönjohtavuutta seurantamittauksien ja -tutkimuksien avulla. Maastohavaintoja verrattiin roudansyvyyslaskentojen tuloksiin.

Tielinjan pohjatutkimukset ja tiesuunnitelman sekä maanäytteiden tavanomaiset laboratoriotutkimukset teki Suomalainen Insinööritoimisto Oy. Suunnitteluvaiheen roudan syvyys- ja routanousuhavainnot tielinjalla suoritettiin tietyömaan projektitoimisto. Maastokartoitukseen liittyvät maanäytteiden tutkimukset sekä routanousukokeet teki Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Geotekniikan laboratorio (nyk. Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio).

Tutkimusta ohjasi suunnitteluvaiheessa johtoryhmä, johon kuuluivat tielaitoksen Hämeen piiristä projektipäällikkö Risto Pelttari, ins. Pentti Koivisto ja dipl.ins. Heikki Koski. Tielaitoksen geopalvelukeskusta (nyk. geokeskus) edusti johtoryhmässä dipl.ins. Aarno Valkeisenmäki.

Suomalainen Insinööritoimisto Oy:stä tutkimukseen osallistuivat dipl.ins. Kimmo Fischer, tekn. yo. Arto Keski-Opas ja dipl.ins. Tapani Toivanen. VTT:n Geotekniikan laboratoriosta tutkimukseen osallistuivat erikoistutkija Seppo Saarelainen ja tutkija Harri Kivikoski. Maaperäkartoituksen teki tutkija Pasi Vahanne.

Koekohteet urakoi maarakennusliike E. Hartikainen ky. Rakentamisvaiheessa projektitoimisto (vt 3 projekti) keräsi kohteita koskevat laadunvalvontatiedot.

Seurantatutkimukseen kuuluvat kenttätutkimukset ja -mittaukset tehtiin talvella 1992 - 1993. Asennukset ja koekuoppatutkimukset teki VTT:n Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio projektitoimiston myötävaikutuksella. Mittarien asennuksen ja havainnot teki niinkään VTT yhteistyössä projektitoimiston kanssa. Seurantatutkimuksessa vastuullinen tutkija oli Heikki Onninen.

Seurantatutkimusta valvoi johtoryhmä, johon kuuluivat tielaitoksen Hämeen piiristä dipl. ins. Heikki Koski, projektitoimistosta mittaustekn. Jouko Seppälä, tielaitoksen geokeskuksesta ylitark. Reijo Orama ja dipl.ins. Arto Kuskelin, Suomalainen Insinööritoimisto Oy:sta dipl. ins. Kimmo Fischer ja Tapani Toivanen ja VTT:sta erikoistutkija Seppo Saarelainen ja tutkija Heikki Onninen.

Tämän raportin laativat VTT:sta Seppo Saarelainen ja Heikki Onninen sekä Suomalainen Insinööritoimisto Oy:sta Tapani Toivanen.

Suunnitteluvaiheen tutkimukset ja raportoinnin rahoitti tielaitoksen Hämeen piiri ja Suomalainen Insinööritoimisto Oy. Seurantatutkimukseen kuuluvat kenttätutkimukset ja -mittaukset rahoitti Hämeen tiepiiri. Tulosten käsittelyn ja raportoinnin rahoitti tielaitoksen keskushallinto.

| | |
|--|----|
| Sisältö | |
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ALKUSANAT | 5 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 2 ROUTANOUSUN HUOMIOON OTTAMINEN TIERAKENTEEN SUUNNITTELUSSA | 9 |
| 2.1 Routanousun vaikutukset tierakenteessa | 9 |
| 2.2 Routanousumekanismi | 10 |
| 2.3 Routanousun ennakointi | 11 |
| 2.4 Routasuojauksen mitoitus routanousun mukaan | 12 |
| 3 KOHTEEN POHJASUHTEET, RAKENTEET JA TUTKIMUKSET | 15 |
| 3.1 Pohjasuhteet | 15 |
| 3.2 Rakenteet | 15 |
| 3.2.1 Rakennemateriaalit | 15 |
| 3.2.2 Rekennetyypit | 16 |
| 3.3 Pohjatutkimukset | 18 |
| 3.3.1 Tien rakennussuunnitelman pohjatutkimukset | 18 |
| 3.3.2 Routamitoitusta varten tehdyt tutkimukset | 18 |
| 4 PÄÄLLYSRAKENTEEN ROUTAMITOITUS | 23 |
| 4.1 Tielinjan routivuustutkimus | 23 |
| 4.2 Tielinjan routanousuominaisuudet | 23 |
| 4.3 Normaalirakenteen mitoitus | 23 |
| 4.4 Rakenteen mitoitus routanousun mukaan | 25 |
| 4.4.1 Mitoituslähtökohdat | 25 |
| 4.4.2 Laskentamalli | 25 |
| 4.4.3 Rakennekerrosten ominaisuudet ja routamitoitus | 25 |
| 4.4.4 Routamitoituslaskelmien tulosten tarkastelu | 28 |
| 5 SEURANTAMITTAUKSET TALVELLA 1992-1993 | 29 |
| 5.1 Rakentamisen toteutus | 29 |
| 5.2 Toteutuneet rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet | 31 |
| 5.3 Seurantamittaukset ja havainnot | 32 |
| 5.3.1 Tavoitteet | 32 |
| 5.3.2 Ilmastotiedot | 32 |
| 5.3.3 Asennukset | 34 |
| 5.3.4 Rakennetiedot kairausten ja koekuoppa- | |
| tutkimusten mukaan | 36 |
| 5.3.5 Mittaustulokset ja havainnot | 37 |

| | | |
|----------|---|----|
| 6 | SUUNNITELTU JA HAVAITTU KÄYTTÄYTYMINEN | 47 |
| 6.1 | Vertailu laskettu/havaittu routasyvyys | 47 |
| 6.2 | Louheen lämmönjohtavuuden arviointi | 51 |
| 6.2.1 | Roudansyvyyslaskentojen avulla | 51 |
| 6.2.2 | Lämpövirta- ja lämpötilamittauksiin perustuva | 51 |
| 6.2.3 | Louheen lämmönjohtavuusarvojen tarkastelu | 53 |
| 6.3 | Routiminen | 55 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET | 57 |
| 7.1 | Routatutkimukset suunnittelutehtävissä | 57 |
| 7.2 | Ilmastokuormituksen määrittäminen | 58 |
| 7.3 | Rakennemateriaalien lämpöteknisten ominaisuuksien arviointi | 58 |
| 7.4 | Routasuojauksen suunnittelu ja mitoitus | 59 |
| 7.5 | Routamitoituksen soveltaminen tierakenteen suunnittelussa | 60 |
| 7.6 | Suunnittelutehtävät routanousuun perustuvassa mitoituksessa | 61 |
| 8 | ROUTAMITOITUKSEN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUKSIA | 63 |
| 9 | KIRJALLISUUSLUETTELO | 64 |
| LIITTEET | Liiteluettelo | 66 |

1. JOHDANTO

Tien päällysteen tasaisuus on merkittävä tien ajomukavuuteen ja liikenneturvallisuuteen vaikuttava laatutekijä. Epätasaisuuden aiheuttajana on usein routiminen. Pohjamaan ominaisuuksien vaihtelusta ja rakenteen epähomogeenisuudesta johtuen alusrakenteen routanousu on epätasaista. Samoin on havaittu, että mitä suurempi on tien routanousu, sitä suurempi on routanousun epätasaisuus. Epätasaisesta routanoususta aiheutuu tierakenteen deformaatioita, jotka näkyvät päällysteen siirtyminä, vaurioina, routaheittoina jne. Voidaan myös arvioida, että päällysrakenteen - päällysteen ja kerrosten - vääntyminen ja deformatuminen suuresti heikentävät tierakenteen kantavuutta lisäten näin tien vaurioitumisnopeutta ja alentaen kestoikää. Alusrakenteen kantavuus keväällä on vuorosuhteessa roudan syvyyteen pohjamaassa sekä routineen pohjamaan jääpitoisuuteen. Voidaan arvioida, että routimisen rajoittaminen parantaa myös pohjamaan kevätkantavuutta ja näin tierakenteen kuormituskestävyyttä.

Tutkimuksessa tuli määrittää routivan, silttisen pohjamaan routanousuominaisuuksia tielinjalla. Pohjamaatietojen ja suunnitelmaratkaisun perusteella tuli laatia routanousuun perustuva päällysrakenteen mitoitusarkastelu tierakenteen suunnittelua varten suunniteltavan tieosuuden olosuhteissa. Tutkimuksia tehtiin suunnittelun edetessä niin, että tuloksia oli mahdollista ottaa huomioon tien poikkileikkauksen ja rakenteen suunnittelussa paikallisten maa-ainesten ja pohjasuhteiden mukaisesti.

Suunnittelun kuluessa todettiin, että tielinjalla oli saatavissa runsaasti kalliolouhetta, jota käytettiin penkereissä. Tutkimuksen yhteydessä todettiin, että tiedot louhepenkereen maarakennusteknisistä ominaisuuksista ovat vähäisiä. Erityisesti todettiin, että louherakenteen jäätymisvastus ja lämmönjohtavuustiedot ovat epämääräiset. Seurantatutkimusten erääksi tavoitteeksi asetettiin louheen ominaisuuksien, erityisesti lämmönjohtavuuden, tarkempi määrittäminen.

2. ROUTANOUSUN HUOMIOON OTTAMINEN TIERAKENTEEN SUUNNITTELUSSA

2.1 Routanousun vaikutukset tierakenteessa

Routanoususta ja routanousueroista aiheutuu tierakenteeseen useita erityyppisiä rasituksia ja muutoksia. Tärkeimmät vaikutukset ja rasitukset ovat:

- aiheuttaa tien pintaan epätasaisuuksia ja muuttaa pinnan kallistuksia.
- heikentää tierakenteen ja pohjamaan kuormituskestävyyttä (sulamispehmeneminen).
- lisää päällysteen ja muiden sidottujen kerrosten vaakasuuntaisia veto- ja puristusjännityksiä (taivuttaa rakennetta, aiheuttaa sivusiirtymiä).

- lisää liikenteestä tierakenteeseen kohdistuvaa kuormitusta.
- löyhdyttää ja sekoittaa sitomattomia rakennekerroksia ja pohjamaata.
- rikkoo kuivatusrakenteita muuttamalla niiden korkeusasemaa ja kallistuksia.
- aiheuttaa hallitsemattomia kosteustilan muutoksia tierakenteessa ja pohjamaassa (sulaminen, kuivatuksen toimimattomuus).

Näistä syistä johtuen tierakenteen routakäyttäytymistä voidaan parantaa rajoittamalla alusrakenteen routaantumista ja routimista sekä tähän liittyen myös parantamalla rakenteen ja pohjamaan kuivatusta. Mm. näillä toimenpiteillä voidaan vähentää pinnan epätasaisuuksia ja pienentää kanta-
vuuden alentumista keväällä.

2.2 Routanousumekanismi

Routanousua syntyy vedenkyllästämässä, routivassa maassa sen jäätyessä. Huokosvesi jäätyy ensin makrohuoksissa, joihin kiteytyminen leviää jäätyneestä maasta. Maan lämpötilan laskiessa jääkiteiden ja mineraalimateriaalin välisen huokosvesikalvon paine alenee. Tämä huokosveden alipaine aiheuttaa veden virtauksen vesikalvoon sulasta maasta. Virtaus pysähtyy kiteytymistasoon, jossa jääkerros kasvaa. Huokosveden alipaineen aiheuttaa huokosveden alijäähtyminen. Jos sulassa maassa on vettä riittävästi saatavissa, ja veden virtaus on jatkuvaa routarajalta jäätymisrajalle, jääkerros kasvaa jatkuvasti. Maan tilavuus kasvaa, mikäli jäätymispaine on suurempi kuin päällä olevan maan kuormitus, ja mikäli jäätyvä maa ei koonpuristu.

Konradin (1980) mukaan veden virtaus jäätymisrajalle on vuorosuhteessa lämpötilagradienttiin jäätymisrajalla. Vuorosuhdekerrointa nimitetään routanousupotentiaaliksi tai segregaatiopotentiaaliksi SP_0 [mm^2/Kh].

$$dv_w/dt = SP_0 \cdot dT/dz \quad (1)$$

missä dv_w/dt on veden virtaus jäätymisrajalle [mm/h]
 dT/dz lämpötilagradientti jäätymisrajalla [K/mm]

Maan painon vaikutus jäätymisrajalla seuraa likimäärin kaavan (2) mukaista ehtoa (Konrad, Morgenstern 1982, Knutsson ym. 1985).

$$SP = SP_0 e^{-a\sigma} \quad (2)$$

missä σ on normaalijännitys jäätymisrajalla [MPa]
 e Neperin luku [-]
 a kerroin, joka on vuorosuhteessa mm.
savipitoisuuteen [$1/\text{MPa}$]

2.3 Routanousun ennakointi

Routanousun arvioinnin on perustuttava paikallisiin, routanousun voimakkuutta kuvaaviin, maan ominaisuuksiin. Nämä voivat riippua osittain pohjamaan ominaisuuksista ja osittain ympäristötekijöistä, kuten routaantumisnopeudesta, huokosveden paineesta, routaantuvan maan vedenläpäisevyydestä ja kuormituksesta. Routanousuun vaikuttavien tekijäin moninaisuudesta johtuen voitaneen luotettavin arvio laatia paikallisista routanousuhavainnoista johdettujen, routanousua kuvaavien tunnuslukujen avulla.

Routivuutta (routiva/routimaton) arvioidaan maan rakeisuuden, kapillaarisuuden ym. luokitusominaisuuksien perusteella (vrt. ISSMFE, TC8 1989). Routimisen voimakkuutta voidaan arvioida esimerkiksi vanhalla tien linjalla mitatun routanousun perusteella tai laadukkaiden routanousukokeiden tuloksista. Määrällisiä routanousun voimakkuutta kuvaavia tunnuslukuja ovat mm. routanoususuhde, routanousutekijä ja segregatiopotentiaali.

Routanoususuhde (ϵ_f tai ϵ_f^*) määritellään routanousun ja vastaavan maakerroksen paksuuden suhteeksi (kaavat 3a ja 3b).

$$\epsilon_f = h/z_f \quad (3a)$$

tai

$$\epsilon_f^* = h/z_0 \quad (3b)$$

joissa h on routanousu [mm]
 z_f routineen kerroksen paksuus jäätyneenä [mm],
 (z_f sisältää routanousun)
 z_0 routineen kerroksen paksuus sulana [mm],
 (z_0 ei sisällä routanousua)
 $\epsilon_f = \epsilon_f^* / (1 + \epsilon_f^*)$

Routanousutekijä (β) verrannollinen routanoususuhteeseen (ϵ_f^*) kaavan (4) mukaisesti (Saetersdal 1976, 1980).

$$\epsilon_f^* = \beta \cdot w_{vf} \quad (4)$$

missä w_{vf} on jäätyneen maan tilavuusvesipitoisuus [-].

Edelleen routanoususuhde (ϵ_f) on homogeenisessa maarakenteessa sekä in situ jännitys- ja vedenpainetilassa likimäärin verrannollinen segregatiopotentiaaliin (Saarelainen 1984, 1992).

$$\varepsilon_f = 2 \cdot SP/k^2 + 0,09 \cdot n_w \quad (5)$$

| | | | |
|-------|----------|----|--|
| missä | SP | on | segregaatiopotentiaali [mm ² /Kh] |
| | k | | roudansyvyyshavainnoista määritetty kerroin (roudansyvyys $z_f = k\sqrt{F}$), [mm/ \sqrt{Kh}] |
| | n_w | | veden täyttämä huokoisuus ($n_w = w \cdot \rho_d / \rho_w$), [%] |
| | ρ_d | | maan kuivatiheys [t/m ³] |
| | ρ_w | | veden tiheys [t/m ³] |

Routanousun voimakkuutta kuvaavat tunnusluvut ovat edellä kuvatulla tavalla toisistaan riippuvia. Routanousua voidaan arvioida joko määrittämällä routaantuneen, routivan kerroksen paksuus ja sen routanousu tai laskemalla samanaikaisesti routanousu ja roudansyvyys esimerkiksi SSR-malliin perustuvalla tietokoneohjelmalla (Saarelainen 1992).

Jos kenttähavaintoihin perustuvia arvoja ei ole saatavissa, voidaan routanousua arvioida mm. häiriintymättömillä näytteillä tehtyjen hyvälaatuisten routanousukokeiden tulosten perusteella (Saarelainen 1992).

2.4 Routasuojuuksen mitoitus routanousun mukaan

Routasuojuuksen mitoituksessa rakenteet määritetään routivan maapohjan ja rakennemateriaalien mukaan niin, ettei tien routaantuminen ja routiminen ylitä annettuja raja-arvoja kuin enintään kerran 10 vuodessa. Määräviä tekijöitä ovat tällöin kohteen mitoitustilasto ts. mitoituspakkasmäärä ja ilman vuotuinen keskilämpötila, maapohjan laatu ja routimisominaisuudet sekä otaksutut rakenteet ja niiden materiaaliominaisuudet.

Tien sallittua routanousua voidaan arvioida mm. sallitun liikenteellisen epätasaisuuden tai päällysteen vaurioitumisriskin mukaan. Suuntaa-antavia arvoja on esitetty taulukossa 1 (Friberg, Slunga 1989). Sen mukaan olisi moottoritieellä edellytettävä, ettei routanousu ylitä arvoa 30 mm kerran 10 vuodessa toistuvana kylmänä talvena (pakkasmäärä F_{10}) arvoa. Kerran 50 vuodessa toistuvana pakkastalvena (pakkasmäärä F_{50}) routanousu ei saisi ylittää arvoa 50 mm, eikä pinnan kulmamuuutos arvoa 0,6 %.

Tielaitoksen ohjeiden mukaan yksittäinen routaheitto on korjattava, jos routaheiton korkeus ylittää taulukon 2 arvon. Taulukkoon on laskettu sallittu routanousun korkeus, kun routaheiton kokonaispituus on 20 tai 5 m. Taulukon arvot on laskettu käyttäen lähteessä Teiden suunnittelu IV, Rakenteen parantaminen (TIEL 2140002/1991, luonnos koekäyttöön, taulukko 72:1) esitettyjä ajoneuvon pystykiihtyvyyden raja-arvoja. Laskelmissa routaheitto on otaksuttu symmetriseksi, eli heiton nouseva (L_1) ja laskeva osa (L_2) ovat yhtä pitkiä. Taulukossa 2 routaheiton pituudet ($L_1 + L_2 = 2L$) ovat 20 m ja 5 m.

Vertailun vuoksi taulukossa 3 esitetään vielä tien sallitun painuman ja kulumamuutoksen ehdotetut raja-arvot (Tiegeotekniikan yleiset suunnittelupe-
rusteet, luonnos 1993).

Kestopäällyste alkaa voimakkaasti vaurioitua, kun päällysteen routanousu ylittää arvon noin 70-100 mm. Yksittäisissä kohteissa päällysteen on ha-
vaittu vaurioituneen jo noin 30 mm routanousulla.

Routimista voidaan vähentää rajoittamalla routivan alusrakenteen routaan-
tumispaksuutta. Tämä toteutetaan joko lisäämällä routimattoman tieraken-
teen paksuutta tai käyttämällä routaeristettä. Koeosuudella tehtiin routami-
toitus sora- ja louherakenteille mitoituspakkasmäärällä 30 000 °Ch ja vuo-
den keskilämpötilana +3,5 °C. Pohjamaan otaksuttiin olevan silttiä, jonka
kuivatiheys on 1,6 t/m³, vesipitoisuus 25 % ja kyllästysaste noin 100 %.
Routanousu rajoitettiin eri segregatiopotentialia vastaavilla pohjamailla
arvoon 30 mm ja 50 mm.

Louheen jäätyneen ja sulan tilan lämmönjohtavuutena käytettiin samaa ar-
voa $\lambda = 1$ W/mK. Rakennekerrosten lämmönjohtavuudet arvioitiin rakenne-
kerrosten kuivatiheyden ja vesipitoisuuden perusteella soveltaen Kerstenin
kaavaa, ja jäätymisvastus kerrosten tilavuusvesipitoisuuden ja veden jää-
tymislämmön avulla.

Routanousun arviointi voidaan tehdä laskemalla roudan tunkeutuminen
routivaan pohjamaahan ja kertomalla routivan, jäätyneen maakerroksen
paksuus routanousuhteella, joka saadaan kaavasta (5). Routanousu ja
roudan syvyys voidaan määrittää myös lämpötaseeseen perustuvalla las-
kentaohjelmalla (Saarelainen 1992).

Taulukko 1. Sallitun routanousun ja kaltevuudenmuutoksen ohjeellisia arvoja
(Friberg, Slunga 1989).

| | Sallittu routanousu [mm] mitoitus- pakkasmäärällä (F_{mit}) ja maksimi- pakkasmäärällä (F_{max}) | | Sallittu kaltevuuden muutos [%] mitoitus- pakkasmäärällä (F_{mit}) |
|-----------------------------|--|------------------|--|
| | $F_{mit}=F_{10}$ | $F_{max}=F_{50}$ | |
| Moottoritiet | 30 | 50 | 0,6 |
| Valta- ja kantatiet | 60 | 100 | 0,6 |
| Seudulliset tiet (maantiet) | 90 | 150 | 1,0 |
| Kokoojatiet | 120 | 200 | 1,5 |
| Yhdystiet | 200 | 300 | 2,0 |

Taulukko 2. Yksittäisen routa- tai painumaheiton korjaustarve. Heitto on korjattava, jos heiton korkeus kyseisellä matkalla ylittää taulukon arvon (Teiden suunnittelu IV. Tien rakenne. Rakenteen parantaminen, luonnos 1991)

| Suurin sallittu nopeus | | Sallittu routaheitto [mm] | Routa- tai painumaheiton kokonaispituus (2 x L) | | | | Hetimit korjattava ympäri- vuotinen heitto [mm] |
|------------------------|-----------|------------------------------|---|----------|---------|-----------|--|
| tärkeät tiet | muut tiet | | 20 m | 5 m | 20 m | 5 m | |
| 100 | | 80 | 21 | ≤ 80 | ≤ 20 | 80...165 | 20...40 |
| 80 | 100 | 80...165 | 20...40 | ≤ 80 | ≤ 20 | 165 | 40 |
| 60 | 80 | 165 | 40 | ≤ 80 | ≤ 20 | 165...250 | 40...60 |
| 50 | 60 | 165...250 | 40...60 | 80...165 | 20...40 | 165...250 | 40...60 |

Taulukko 3. Sallitun painuman ja kaltevuudenmuutoksen ohjeellisia arvoja (Tiegeotekniikan yleiset suunnitteluperusteet, luonnos 1993)

| | Suositeltava enimmäis- painuma [mm] | Sallittu kaltevuuden muutos [%] | |
|-----------------------------|--|---------------------------------|--------------|
| | | pituussuunta | poikkisuunta |
| Moottoritiet | 400... 700 | 0,4...0,6 | 1,0 |
| Valta- ja kantatiet | 500... 800 | 0,5...0,8 | 1,5 |
| Seudulliset tiet (maantiet) | 600... 900 | 0,7...1,1 | 2,0 |
| Kokoojatiet | 700...1000 | 0,9...1,6 | - |
| Yhdystiet | 800... | 1,5... | - |

3. KOHTEEN POHJASUHTEET, RAKENTEET JA TUTKIMUKSET

3.1 Pohjasuhteet

Valtatien 3 linja välillä Riihimäki P - Virala (plv 64654...82000) kulkee pinnanmuodostukseltaan vaihtelevassa maastossa. Linjalla on muutama suurehko kalliosydäminen moreenimäki ja yksi soraharju. Kalliopaljastumia on vähän. Mäkialueiden välisillä alavilla osuuksilla on pohjamaa pääasiassa savea ja silttiä. Hienorakeiset maalajit muuttuvat karkeammiksi pohjoiseen päin siirryttäessä.

Linjan alkuosalla paaluvälillä 65000...66000 sijaitsevan Uramonmäen jälkeen tielinja kulkee 5 kilometriä matalalla penkereellä ja/tai nollatasauksella alavalla savi- ja silttialueella, kunnes leikkautuu paalulta 71000 alkaen Melkkolan soraharjuun. Tämän jälkeen seuraavat Omettamäen ja Rappukallionmäen kallioleikkaukset.

Paaluvälillä 73000...77600 on pohjamaa pääasiassa savea ja silttiä. Tällä 4,6 km osuudella maasto on aluksi sivukaltevaa, jolloin moottoritien toinen ajorata sijoittuu pääosin korkealle penkereelle ja toinen ajorata ns. nollatasaukseen. Loppuosalla tie kulkee matalassa leikkauksessa (nollatasaus).

Paalulta 77600 lähtien moottoritie leikkautuu Hakoistenmäen moreenimäkeen, jossa kalliopinta sijoittuu lähelle tien tasausviivaa vaihdellen sen molemmin puolin. Pohjamaa on erittäin häiriintymisherkkää siltistä hiekamoreenia.

Hakoistenmäen jälkeen seuraa noin 2,5 km mittainen tieosuus, jolla pohjamaa on laihaa savea ja silttiä. Moottoritie kulkee aluksi korkealla penkereellä noin kilometrin ja tämän jälkeen pienessä leikkauksessa/nollatasauksessa.

Tieosuuden loppupäässä sijaitsevat Luotatin massiiviset kalliomäet.

Liitteissä 1 - 6 on esitetty moottoritien sijainti kartalla, yleispituusleikkaus sekä mm. suunnitellut päällysrakennekerrokset suunnittelun eri vaiheissa.

3.2 Rakenteet

3.2.1 Rakennemateriaalit

Moottoritiellä käytettiin sekä tavanomaista sorapäällysrakennetta että päällysrakennetta, jossa jakava kerros oli tehty louheesta. Käytettävä rakennetyyppi määräytyi massataloustarkastelun perusteella. Tälle suunnitteluhankkeelle oli ominaista, että työmaaorganisaatio oli alusta alkaen mukana massataloussuunnittelussa. Massankäyttösuunnitteluun kiinnitettiin ehkä tavanomaista enemmän huomiota jo aivan suunnittelun alkuvaiheista lähtien. Louheen käytön pääperiaatteeksi sovittiin, että kaikki kallioleikkauksista saatava louhe käytetään tierakenteeseen ko. leikkauksen

molemmin puolin. Kallioleikkauksien välisillä osuuksilla käytettiin sorapäälysrakennetta.

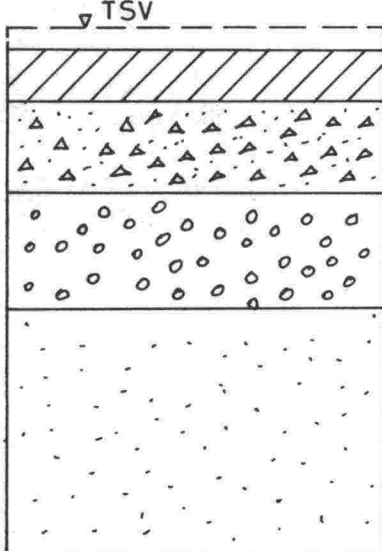
Tielinjalla sijaitseva yksi soraharju, josta suunniteltiin otettavaksi valtaosa tarvittavista routimattomista maa-aineksista. Jakavan kerrokseen ja routimattomiin täyttöihin tarvittiin lähes 350 000 m³rtr soraa ja hiekkaa, joista 330 000 m³rtr tulisi kyseiseltä Melkkolan sora-alueelta ja loput 20 000 m³rtr tiealueen ulkopuoliselta Vaaralan sora-alueelta.

Melkkolan sora-alueella oli erikoisia siltitäytteisiä painanteita, jotka vaikeuttivat routimattoman maa-aineksen ottoa. Tästä syystä lähinnä urakoitsijan ehdotuksesta osa Melkkolasta otettavaksi suunnitellusta routimattomasta maa-aineksesta korvattiin moottoritien läheisyydessä paalulla 76000 sijaitsevalta Nuoritalon sora-alueelta otetulla soralla ja hiekalla (katso kohta 5.1).

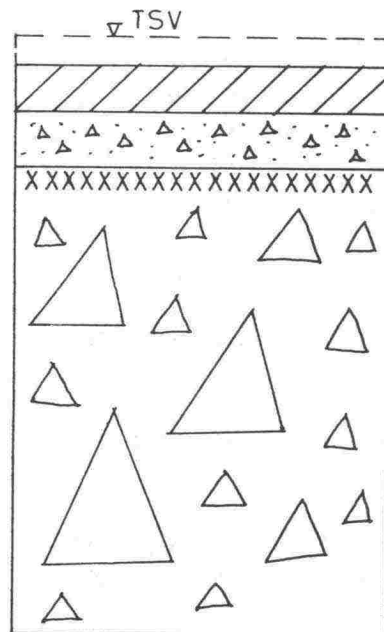
3.2.2 Rakennetyypit

Moottoritieellä käytetyt päällysrakennetyypit on esitetty kuvissa 1, 2 ja 3. Kuvan 3 maabetonirakenne ei sisällynyt alkuperäiseen suunnitelmaan. Hämeen tiepiiri suunnitteli sen omana työnään rakentamisen kuluessa.

Liikenteelle avattaessa oli tien päällysteen paksuus 120 mm (AB 50 mm + BS 70 mm) kuvien 1 ja 2 rakennetyypeillä ja 50 mm kuvan 3 rakennetyypillä. Myöhemmin tehtäviä suunnitelman mukaisia päällystekerroksia varten varattu on 80 millimetrin päällystevара.

| | KERROS | PAKSUUS mm | MATERIAALI |
|---|-----------------------------------|---------------|-------------|
|  | Päällystevара | 80 | AB |
| | Päällyste | 120 | AB + BS |
| | Kantava | 250 | M 0-65 mm |
| | Jakava | 300 | Sr 0-150 mm |
| | Suodatin (Routimaton täyte) | 450-850 | Hk / Sr |
| Kokonaispaksuus 1200 - 1600 mm | | | |

Kuva 1. Moottoritien sorapäälysrakenne



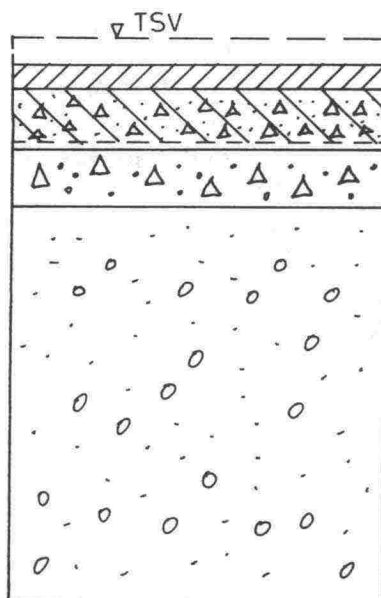
| KERROS | PAKSUUS | MATERIAALI |
|--------|---------|------------|
|--------|---------|------------|

| | | |
|---------------|-----|----------|
| Päällystevara | 80 | AB |
| Päällyste | 120 | AB + BS |
| Kantava | 150 | M 0 - 65 |
| Kiilaus | - | M |

| | | |
|--------|-------------|------------------|
| Jakava | 1250 - 1850 | Louhe ≤ # 900 |
|--------|-------------|------------------|

Kokonaispaksuus 1600 - 2200 mm

Kuva 2. Moottoritien louhepäällysrakenne



| KERROS | PAKSUUS mm | MATERIAALI |
|--------|---------------|------------|
|--------|---------------|------------|

| | | |
|---------------|-------------------|---------------|
| Päällystevara | 80 | AB |
| Päällyste | 50 | KBAB |
| Kantava | 170 ¹⁾ | KaM 0 - 32 mm |
| Jakava | 150 | KaM 0 - 55 mm |

| | | |
|---------------------|------------|-----------------------|
| Routimaton täyte | 750 - 1150 | Sr / Hk 0 - 150 mm |
|---------------------|------------|-----------------------|

Kokonaispaksuus 1200 - 1600 mm

1) Sementtistabilointi 150 mm

Kuva 3. Moottoritien maabetonirakenne

3.3 Pohjatutkimukset

3.3.1 Tien rakennussuunnitelman pohjatutkimukset

Tien rakennussuunnitelman laatimisen yhteydessä tehtiin moottoritienlinjalla pohjanvahvistusten ja massankäytön suunnittelua varten pohjatutkimuksia kuten kaikissa tiehankkeissa. Valtaosan pohjatutkimuksista muodostavat painokairaukset, joiden osuus on lähes 70 % tutkimuspisteiden kokonaismäärästä.

Päällysrakenteen normaalin routamitoituksen tekemiseksi otettiin tielinjalta maanäytteitä, joista tutkittiin rakeisuus, vesipitoisuus ja osasta näytteitä myös hienousluku. Moottoritienjalta paaluväliltä 64654...82000 otettiin maanäytteitä kaikkiaan 308 näytepisteestä. Maanäytteitä oli keskimäärin 17,8 kpl/km eli näytteiden keskimääräinen pisteväli oli 56 m. Kaikkia maanäytteitä ei luonnollisestikaan otettu vain routamitoitusta silmällä pitäen, vaan em. näytteisiin sisältyy myös pehmeikkö- ja leikkausalueiden sekä siltapaikkojen näytteitä.

Pohjavesipinnan määrittämistä varten asennettiin lähes kaikille siltapaikoille ja lisäksi muutamaa syvään maaleikkaukseen pohjavesiputket. Pohjavesitiedot on esitetty liitteiden 1 - 6 pituusleikkauksissa.

Taulukossa 4 on esitetty yhteenveto moottoritienlinjalla tehdyistä pohjatutkimuksista kilometreittäin eriteltynä.

3.3.2 Routamitoitusta varten tehdyt tutkimukset

Routanousun perusteella tehtävää routamitoitusta varten tehtiin maastokartoitus, sen pohjalta routanousukokeet laboratoriossa sekä lisäksi kenttähavainnot talvella 1988-89.

Kenttäkartoitus

Moottoritienlinjalla tehtiin aluksi maastokartoitus, jossa tutkimusalue pyrittiin jakamaan geologisiin ja hydrogeologisiin perustein routivuudeltaan erilaisiin vyöhykkeisiin. Maastokartoituksen tulokset esitettiin liitteessä 7 kuvatulla tavalla 1:2000 kartalla. Kartan vyöhykejakoa laadittaessa käytettiin hyväksi myös pintamaanäytteiden laboratoriokoetuloksia (vesipitoisuus, savipitoisuus), joiden vaihtelu tielinjalla piirrettiin tiepituusleikkauksen yhteyteen liitteessä 8 esitetyllä tavalla.

Maastokartoituksen tuloksia käytettiin hyväksi mm. suunniteltaessa laboratoriossa tehtävien routanousukokeiden näytteenottoa.

Laboratoriotutkimukset

Maastokartoituksen yhteydessä tielinjalta otettiin maanäytteitä 0,5...1,5 metrin syvyydestä yhteensä 80 kpl. Näytteet kuivatettiin laboratoriossa, ja niille tehtiin silmämääräinen tarkastus, jossa arvioitiin näytteen maalaji (rakeisuus) ja kerrallisuus/kerroksellisuus sekä otettiin huomioon muut mahdolliset routimiseen vaikuttavat seikat.

Taulukko 4. Vt 3, Riihimäki P - Virala, Moottoritien kairausmäärät

| Paaluväli | PAINO | TÄRY | PORA | HEIJARI | SIIPi | NÄYTE | YHTEENSÄ |
|--------------|-------|------|------|---------|-------|-------|----------|
| 64654-65000 | 53 | 8 | 0 | 0 | 0 | 2 | 63 |
| 65000-66000 | 89 | 12 | 96 | 0 | 0 | 22 | 219 |
| 66000-67000 | 159 | 0 | 12 | 0 | 11 | 12 | 194 |
| 67000-68000 | 160 | 0 | 6 | 0 | 7 | 12 | 185 |
| 68000-69000 | 148 | 9 | 0 | 0 | 1 | 7 | 165 |
| 69000-70000 | 191 | 0 | 1 | 0 | 0 | 13 | 205 |
| 70000-71000 | 219 | 1 | 13 | 0 | 0 | 13 | 246 |
| 71000-72000 | 66 | 6 | 54 | 0 | 0 | 48 | 174 |
| 72000-73000 | 132 | 34 | 93 | 0 | 3 | 24 | 286 |
| 73000-74000 | 190 | 12 | 12 | 0 | 5 | 13 | 232 |
| 74000-75000 | 168 | 0 | 38 | 0 | 5 | 20 | 231 |
| 75000-76000 | 206 | 1 | 8 | 31 | 7 | 21 | 274 |
| 76000-77000 | 195 | 1 | 0 | 6 | 0 | 13 | 215 |
| 77000-78000 | 155 | 0 | 35 | 0 | 0 | 14 | 204 |
| 78000-79000 | 101 | 3 | 68 | 0 | 4 | 30 | 206 |
| 79000-80000 | 176 | 0 | 18 | 19 | 6 | 12 | 231 |
| 80000-81000 | 145 | 6 | 12 | 0 | 0 | 18 | 181 |
| 81000-82000 | 78 | 109 | 49 | 0 | 0 | 14 | 250 |
| 17,346 km | | | | | | | |
| Yhteensä kpl | 2631 | 202 | 515 | 56 | 49 | 308 | 3761 |
| Yhteensä % | 69,9 | 5,4 | 13,7 | 1,5 | 1,3 | 8,2 | 100,0 |
| Kpl/km | 151,7 | 11,6 | 29,7 | 3,2 | 2,8 | 17,8 | 216,8 |

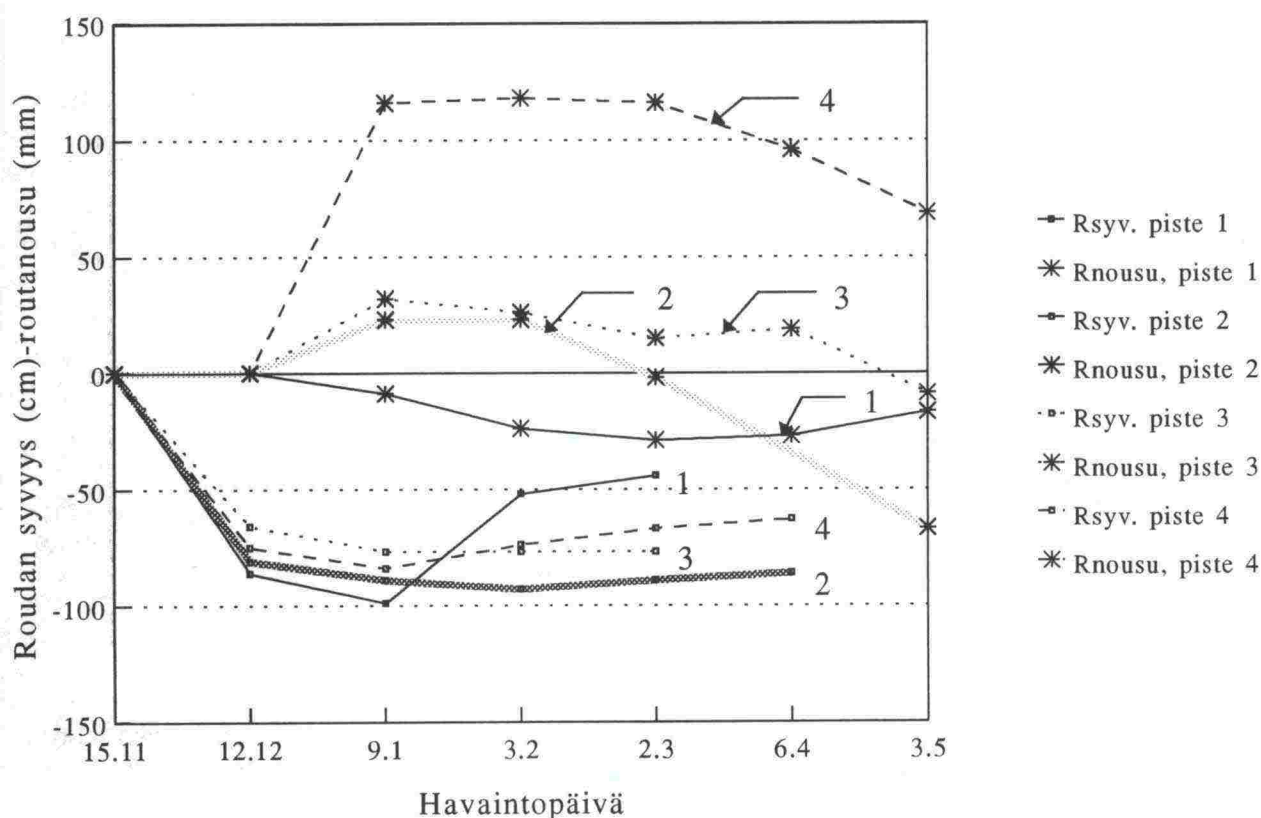
Eri pehmeikköalueilta valittiin edustavat näytteet, joista määritettiin laboratoriossa rakeisuus, vesipitoisuus sekä hienousluku. Laboratoriotutkimusten tulokset on esitetty taulukossa 5. Taulukon hienousluku (vastaa likimäärin juoksurajaa) on määritetty kartiokokeiden perusteella. Maanäytteiden laboratoriokoetuloksia (vesipi-toisuus, hienoainespitoisuus) käytettiin apuna mm. routivuuden arvioinnissa ja tielinjan routivuusvyöhykkeiden rajaamisessa (kts. liitteet 7, 8 ja 13).

Suomalainen Insinööritoimisto Oy suoritti lisänäytteenottoa valituilta alueilta. Maanäytteistä määritettiin rakeisuus ja vesipitoisuudet. Kahdeksalla näytteellä tehtiin myös routanousukokeet. Moreeninäytettä lukuun ottamatta routanousukoenäytteistä määritettiin myös hienousluvut, hienoustekijät, tilavuuspainot ja kuivatilavuuspainot. Routanousukokeilla määritettiin maanäytteen segregaatiopotentiaali kolmella kuormituksella. Tutkimustulokset on esitetty yhteenvetona taulukossa 5.

Kenttähavainnot

Tutkimusalueelle rakennettiin neljä routatutkimuspistettä, joihin asennettiin roudansyvyysmittarit sekä kolmeen pisteistä asennettiin termoelementtejä lämpötilaseurantaa varten. Routanousua seurattiin vaaitsemalla routaputken päätä ja kaivorakenteen kantta. Lämpötilamittaukset suoritettiin kaksi kertaa talven 1988-89 aikana. Tutkimusalueella oli talven 1988-89 pakasmäärä noin $F = 8400 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$ (sääasema Jokioinen), mikä vastaa tilastollisesti noin kerran 20 vuodessa toistuvaa leutoa talvea. Tammi- ja helmikuussa 1989 ilman keskilämpötilat olivat $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ lähetyvillä, joten routaraja pysytteli paikoillaan tai jopa hieman siirtyi ylemmäksi.

Kenttähavaintopisteissä mitattiin routanousua vaaituksella ja roudan syvyyttä routaputkilla. Tulokset on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Routanousu- ja roudansyvyyshavainnot routapisteissä 1...4 talvella 1988-89. Piste 1: pl 66203, vas. 41.5 m, piste 2: pl 73260, vas 25 m, piste 3: pl 77360, vas 60 m ja piste 4: pl 79500, vas 10 m.

Havaintojen mukaan roudan syvyys oli suurimmillaan tammikuussa 1989 vaihdellen välillä 0,8...1 metriä. Talven 1988-89 suurin routanousu oli mitausten mukaan 25...120 mm. Routapisteessä 1 mitattiin vain "painumaa", josta osa on pysyvää (ei palautunut). Piste 1 sijaitsi routamittauksia varten rakennetussa koepenkereessä, jonka kokoonpuristuminen on ollut mahdollista puutteellisesta tiivistyksestä johtuen. Vaaitusten kiintopistiden routimattomuutta ei jälkeen päin enää voitu varmistaa. Vastaavissa uusissa routanousuvaaituksissa kiintopisteiden liikkumattomuus tulee aina varmistaa.

Taulukko 5. Vt 3, Riihimäki P - Virala. Laboratoriotutkimusten tulokset

| Paalu | Lab. nro | Syvyys [m] | Maalaji | Tilavuus- painot γ/γ_d [kN/m ³] | Vesi- pitoi- suus w [%] | Savi- lajite pitoi- suus [%] | Hienous luku F [%] | Hienous tekijä R _f [%] | Segregaatiopotentiaali SP Kuormituksilla 0 kPa 20 kPa 50 kPa [mm ² /Kh] | | |
|--|--|--|--|---|---|---|--|--|--|---|---|
| 66000 - 66800 73035 - 73270 74960 - 75540 76760 - 77160 77480 - 77550 79200 - 79250 | 5880 5881 5882 5883 5884 5885 | | LaSa LaSa LaSa LaSa saSi LaSa | | 43,3 41,8 38,5 40,1 42,5 | 42 33 36 33 22 31 | 46,0 42,0 39,0 40,0 43,0 | 91,3 78,6 84,6 55,0 72,1 | | | |
| 66203 vas. 41,5 m 67450 vas. 30 m 73260 vas. 25 m 75600 vas. 10 m 76300 vas. 10 m 77360 vas. 60 m 77840 oik. 4 m 78060 oik. 58 m 78060 oik. 58 m 78060 oik. 58 m 79500 vas. 10 m 80700 oik. 9 m | 5905 5908 5913 5914 5975 5976 5984 5985 5986 5987 5977 5988 | 0,6 0,7 0,9 0,9 1,0...1,5 0,45...0,85 1,0...1,7 0,6...1,2 1,2...1,7 1,7...2,2 0,7...1,0 0,9...1,3 | LaSa LaSa saSi saSi saSi saSi saSi HkMr siHkMr siHkMr HkMr Si saSi | 19,3/14,2 19,5/15,1 18,8/13,9 20,3/16,6 19,1/14,7 19,0/15,4 18,6/14,4 | 35,5 29,4 35,8 21,7 29,9 23,3 9,0 21,1 9,1 8,5 29,7 27,0 | 46 37 20 18 26 20 9 | 57,5 45,8 49,7 39,0 44,0 41,0 46,3 43,0 | 76,0 76,7 40,2 41,0 53,2 46,3 20,9 | 2,5 4,5 4,0 5,5 4,5 6,0 | 2,0 4,0 3,5 3,0 4,0 3,5 4,0 | 1,5 5,0 2,5 2,0 3,0 3,0 1,5 |

Huomautus: Hienousteijä R_f = 100 · (läpäisy-% ≤ 0,002 mm)/(w_{L(0,074 mm)}) [%]
jossa w_{L(0,074 mm)} on 0,074 mm:n seulan läpäisystä aineksesta määritetty juoksuraja [%].

4. PÄÄLLYSRAKENTEEN ROUTAMITOITUS

4.1 Tielinjan routivuusluokitus

Routivuusominaisuuksien kuvaamiseksi tehdyssä maaperäkartoituksessa käytettiin seuraavaa luokitusta (Gandahl 1987):

- | | |
|------|---|
| I | Siltti ≤ 1 m, alla läpäisevä maakerros |
| II | Siltti ≤ 1 m, alla läpäisemätön maakerros |
| III | Siltti > 1 m, alla läpäisevä maakerros |
| IV | Siltti > 1 m, alla läpäisemätön maakerros |
| V | Siltti kiilamaisena kerroksena läpäisevän pohjamaan päällä (paksuus 0,1 - 1 m) |
| VI | Läpäisevä materiaali kiilamaisen kerroksena siltin päällä (kiilan paksuus 0,1-1 m) |
| VII | Läpäisevä maakerros ≤ 1 m siltin päällä |
| VIII | Läpäisevä maakerros > 1 m siltin päällä |
| IX | Kerroksellinen pohjamaa |

Maalajikartoitus esitettiin kartoissa (liite 7). Karttojen laadinnassa otettiin huomioon pintamaanäytteiden rakeisuus- ja vesipitoisuusmääritykset (liitteet 8 ja 13). Tutkimusosuudella maapohja oli laadultaan huomattavan vaihtelevaa. Eteläosassa hienorakeisen pohjamaan vallitseva maalaji oli savi, joka muuttui pohjoiseen mentäessä saviseksi siltiksi ja edelleen siltiksi. Savisen siltin ja siltin alueella pohjamaa oli selvästi kerroksellista. Silttikerrostuma, jonka arvioitiin olevan savea vanhemman, jatkunee savi-kerrostuman alle. Koko alue lienee syntyvaiheessaan ollut saven peittämä, ja siltti lienee paljastunut saven alta korkeammilla reuna-alueilla ranta-eroosion vaikutuksesta.

Pohjavesiolojen kartoituksessa ei linjalla havaittu erityisen kosteita alueita.

4.2 Tielinjan routanousuominaisuudet

Tielinjan routanousuominaisuuksien kuvaamiseksi rakenteen suunnittelua varten suunnitelma-alue jaettiin routivuusluokkiin. Jako tehtiin maaperäkartoituksen ja sen yhteydessä otettujen ja tutkittujen pintamaanäytteiden perusteella. Edelleen rajattiin tasausviivan ja maanpinnan korkeusasemien perusteella tieosuudet, joilla rakenteena oli penger (rakennettu alusrakenne), maalaatikko, maaleikkaus tai kallioleikkaus. Routivien pohjamaa-osuuksien määritetyn segregatiopotentiaalin (taulukko 3) soveltamisalue arvioitiin maaperäkartoitustietojen perusteella.

4.3 Normaalirakenteen mitoitus

Päällysrakenteen kantavuus- ja routamitoitus tehtiin nykyisten suunnitteluhajojen mukaisesti jakamalla pohjamaa kantavuus- ja routivuusluokkiin. Aluksi tehtiin luonnollisesti kantavuusmitoitus. Moottoritieellä sorapäällysrakenteen minimipaksuudeksi saatiin (sovittiin) E-luokassa 1200 mm ja

F-luokassa 1400 mm. Tämän perusteella sovittiin edelleen, että routamitoitus tehdään käyttäen 200 mm porrastusta rakennepaksuudessa.

Louhepäällysrakenteen minimipaksuudeksi sovittiin yhdessä rakentajien kanssa 1600 mm. Tällöin louhepatjan paksuus on vähintään 1250 mm. Louherakenteen kantavuus on luonnollisesti riittävä.

Hämeen tiepiirin rakentajat halusivat käyttää maksimilohkarekooltaan 900 mm louhetta suunnitelmassa esitetyn 600 mm maksimilohkarekoon asemesta. Näin myös tehtiin. Vaatimus, että maksimiraekoko on enintään 2/3 kerrospaksuudesta, kuitenkin täyttyi vielä. Rakentajien halu käyttää karkeampaa louhetta suunnitelmista ja tienrakennuksen yleisestä työselityksestä poiketen johtui paitsi karkeamman louheen pienemmistä louhintakustannuksista myös vaikeudesta valvoa urakoitsijan käyttämän louheen maksimilohkarekoko.

Tässä vaiheessa oli massalaskenta ja massankäyttösuunnittelu edennyt jo niin pitkälle, että sora- ja louheosuudet olivat tiedossa lähes lopullisella tarkkuudella.

Suunnittelijan tekemä routamitoitus oli tässä hankkeessa kaksivaiheinen. Ensin tehtiin alustava mitoitus, jota myöhemmin tarkennettiin routanousukokeiden antamien tuloksien perusteella.

Alustava mitoitus

Liitteissä 1.1-1.6 on esitetty toukokuussa -89 suunnittelijan toimesta tehty ns. alustava mitoitus. Nimestään huolimatta kyseessä on lähes lopullinen mitoitus. Suunnittelutyön kuluessa tehtyjen routahavaintojen ja -kokeiden tulokset ovat olleet suunnittelijan tiedossa tietyllä tarkkuudella jo tätä mitoitusta tehtäessä ja niillä on täten ollut oma vaikutuksensa routamitoitukseen.

Lopullinen mitoitus

Kun VTT:n routanousukokeisiin perustuva (teoreettinen) ehdotus moottoritien routamitoituksesta valmistui, tarkennettiin moottoritien alustavaa kantavuus- ja routamitoitusta sen pohjalta. VTT:n ehdottamat 50 mm ja 30 mm sallittuihin routanousuihin perustuvat päällysrakennepaksuudet on esitetty liitteiden 1 - 6 pituusleikkauspiirustuksissa.

Moottoritien lopullisen routamitoituksen lähtökohtana pidettiin homogeenisilla savi- ja siltialueilla 50 mm ja muualla 30 mm sallittua routanousua. Lopulliset päällysrakennepaksuudet sovittiin suunnittelijoiden ja tilaajan välisessä neuvottelussa kesäkuussa 1989. Tämän jälkeen tehtiin vielä massankäyttösuunnitelmasta johtuvia vähäisiä muutoksia päällysrakennemateriaaliin.

Moottoritien päällysrakenteen lopullinen kantavuus- ja routamitoitus on esitetty liitteen 1 - 6 pituusleikkauspiirustuksissa.

4.4 Rakenteen mitoitust routanousun mukaan

4.4.1 Mitoituslähtökohdat

Pakkasmäärän mitoitussarvona käytettiin kerran 10 vuodessa toistuvaa maksimipakkasmäärää, joka tieosan olosuhteissa on noin 30 000 °Ch. Vuotuinen ilman keskilämpötila on vastaavasti noin +3,5 °C. Pohjamaan otaksuttiin olevan silttiä, jonka kuivatiheys on noin 1,6 t/m³ ja vesipitoisuus noin 25 %. Pohjamaan kuormittamattoman segregatiopotentiaalin otaksuttiin olevan välillä 3 - 10 mm²/Kh.

4.4.2 Laskentamalli

Laskelmat tehtiin VTT:n Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorioissa kehitetyllä SSR-routaohjelmalla, jolla voidaan arvioida roudan syvyyttä ja routanousua yksilotteisessa kerrosrakenteessa routarajan lämpötasapainoon perustuen (Saarelainen 1989, 1992).

4.4.3 Rakennekerrosten ominaisuudet ja routamitoitus

Louherakenne

Rakenteen yläosassa on asfalttipäällyste paksuudeltaan 200 mm, tämän alla kantava kerros murskeesta paksuudeltaan 150 mm ja kiilauskerros 100 mm. Jakava kerros otaksuttiin tehtäväksi louheesta, ja sen paksuus määritettiin routasuojaustarpeen mukaan. Louheen alla on veden kyllästämä silttinen alusrakenne (pohjamaa).

Routanousulaskelmissa otaksuttiin eri kerroksille taulukon 6 mukaiset materiaaliominaisuudet.

Taulukko 6. Louherakenteen rakennekerrosten laskentaominaisuudet.

| Kerros | Paksuus [mm] | Vesipitoisuus [%] | Kuivatiheys [t/m ³] | Segregaatiopotentiaali [mm ² /Kh] |
|----------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|---|
| Asfaltti | 200 | 1 | 2,2 | 0 |
| Kantava | 250 | 3 | 2,0 | 0 |
| Jakava (louhe) | mit. mukaan | 1 | 1,8 | 0 |
| Pohjamaa | | 25 | 1,6 | 3 - 10 |

Materiaalin lämpötekniset ominaisuudet (lämmönjohtavuus jäätyneenä ja sulana sekä jäätymislämpö) määritettiin em. ominaisuuksien mukaan muilla materiaaleilla paitsi louheella, jonka lämmönjohtavuudeksi otaksuttiin 1 W/mK. Johansenin ym. (1989) mukaan louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuus on välillä 0,6 - 1,3 W/mK louheen tiivyydestä ja rakenteesta riippuen. Johtumisen ohella lämpötilaerojen aiheuttama tuulettuminen ja konvektio saattavat vaikuttaa merkittävästi lämmönjohtavuuden arvoon.

Laskelmin määritettiin louhekerroksen paksuus, jolla tien routanousu on mitoitustalvena joko 30 mm tai 50 mm. Louhekerroksen paksuutta pohjaan segregatiopotentiaalin mukaan on kuvattu taulukossa 7.

Taulukko 7. Louhekerroksen paksuus d [mm] alusrakenteen siltin segregatiopotentiaalin SP_0 [mm^2/Kh] ja sallitun routanousun h suhteen.

| SP_0 | $d_{h=30\text{mm}}$ | $d_{h=50\text{mm}}$ |
|--------|---------------------|---------------------|
| 3 | 900 | 450 |
| 5 | 1250 | 800 |
| 7 | 1500 | 1050 |
| 10 | 1800 | 1300 |

Päällysrakenteen kokonaispaksuus saadaan lisäämällä louhekerroksen paksuuteen 450 mm. Tulokset on esitetty käyrinä kuvassa 5.

Sorarakenne

Sorarakenteen yläosa (asfalttipäällyste 200 mm sekä kantava kerros 250 mm) olivat samat kuin louherakenteessa. Jakavan sorakerroksen paksuudeksi otaksuttiin 0,25 m. Routasuojaukseksi mitoitettiin suodatinkerros routimattomasta sorasta, jonka ominaisuuksiksi otaksuttiin

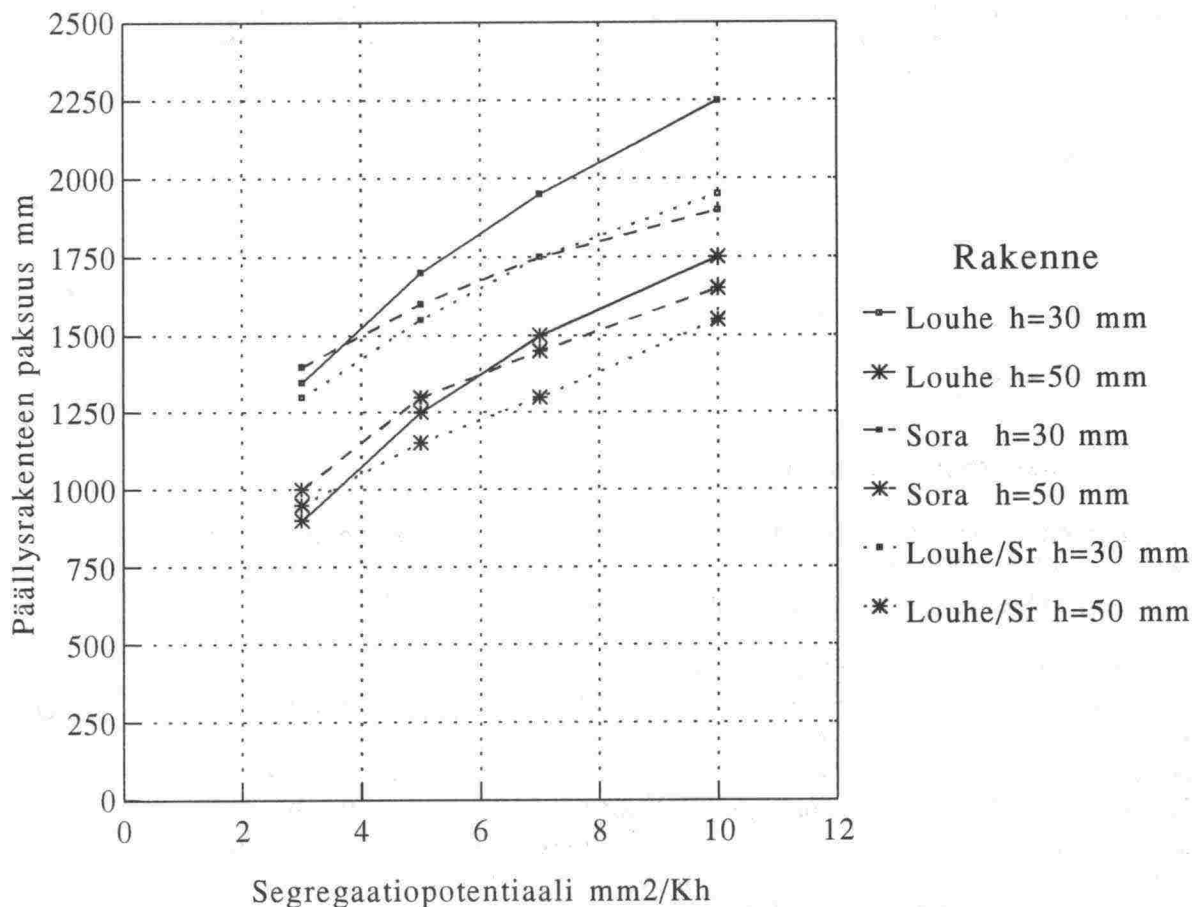
- vesipitoisuus 5 %
- kuivatiheys 1,8 t/m³

Tarvittavan routasuojauksen paksuudeksi saatiin eri segregatiopotentiaalin arvoilla sekä routanousuilla 30 mm ja 50 mm mitoitustalvena taulukossa 8 esitetyt arvot.

Taulukko 8. Sorakerroksen paksuus d [mm] alusrakenteen siltin segregatiopotentiaalin SP_0 [mm^2/Kh] ja sallitun routanousun h suhteen.

| SP_0 | $d_{h=30\text{mm}}$ | $d_{h=50\text{mm}}$ |
|--------|---------------------|---------------------|
| 3 | 550 | 300 |
| 5 | 800 | 600 |
| 7 | 1000 | 750 |
| 10 | 1200 | 950 |

Päällysrakenteen kokonaispaksuus saadaan lisäämällä lukuihin 700 mm. Laskentatulokset on esitetty käyrinä kuvassa 5.



Kuva 5. Louhe-, sora- ja louhe/sorapäälysrakenteen routamitoitus siiltisen alusrakenteen routivuuden (segregaatiopotentiaalin SP) perusteella. Tarvittava routimattoman rakenteen paksuus, kun sallittu routanousu (h) on 30 mm tai 50 mm mitoituspakasmäärän (F_{10}) ollessa 30 000 Kh.

Louhe/suodatinsorarakenne

Louherakenteen routasuojausvaikutuksen arvioitiin paranevan, jos louheen ja routivan alusrakenteen väliin rakennetaan suodatin/eristyskerros sorasta. Laskelmissa suodatinkerroksen paksuudeksi otaksuttiin 300 mm. Suodatinkerroksen materiaaliominaisuudet olivat samat kuin sorarakenteessa. Muiden kerrosten paksuudet ja ominaisuudet olivat samat kuin louherakenteessa.

Tarvittava louhekerroksen paksuus alusrakenteen segregaatiopotentiaalin suhteen routanousun arvoilla 30 ja 50 mm on esitetty taulukossa 9.

Päälysrakenteen kokonaispaksuus saadaan lisäämällä taulukon arvoihin 750 mm. Laskentatulokset on esitetty käyrinä kuvassa 5.

Taulukko 9. Louhekerroksen paksuus d [mm] louhe/sorarakenteessa alusrakenteen siltin segregatiopotentiaalin SP_o [mm²/Kh] ja sallitun routanousun h suhteen

| SP_o | $d_{h=30\text{mm}}$ | $d_{h=50\text{mm}}$ |
|--------|---------------------|---------------------|
| 3 | 550 | 200 |
| 5 | 800 | 400 |
| 7 | 1000 | 550 |
| 10 | 1200 | 800 |

4.4.4 Routamitoituslaskelmien tulosten tarkastelu

Laskelmien perusteella on tarvittavan routimattoman rakenteen paksuuden ero eri rakenteilla 300 - 500 mm. Ohuin rakenne on tarpeen louhe/sorarakenteella ja paksuin louherakenteella (vrt. kuva 5).

Mitoitetut paksuudet tarkoittavat rakennekerrosten paksuutta silloin, kun rakennekerrokset tehdään suoraan luonnontilaisen, routivan pohjamaan varaan. Korkean penkereen tapauksessa tarvittava routimaton rakennepaksuus määräytyy routivan pengermateriaalin mukaan. Kun pengerkorkeus on merkittävästi suurempi kuin maalaatikkosyvyys, on (routivan) pengermateriaalin routivuus määritettävä pengermateriaalin laatu ja routimis-mahdollisuudet huomioon ottaen. Routivasta materiaalista rakennetun alusrakenteen routanousu saattaa kuivatusolojen muuttuminen ja rakenteen homogeenisuus huomioiden jäädä pienemmäksi kuin vastaavaa materiaalia olevan luonnontilaisen pohjamaan routiminen. Routiminen lienee homogeenisuudesta johtuen lisäksi tasaisempaa homogenisoidussa alusrakenteessa.

Alusrakenteen muuttuessa routivasta kallioksi tulisi routanousu tasata siirtymäkiilalla, joka ulotetaan kallion puoleisessa päässä rakenteen suunnitteluohjeiden mukaiseen syvyyteen (siirtymäkiilasyvyys).

5. SEURANTAMITTAUKSET TALVELLA 1992-1993

5.1 Rakentamisen toteutus

Moottoritie välillä Riihimäki P - Virala rakennettiin urakalla kahdessa urakkaosassa vuosien 90-92 aikana. Maarakennusurakan valvonnasta vastasi Hämeen tiepiirin hanketta varten perustama projektiorganisaatio. Laadunvalvonnassa noudatettiin tielaitoksen laadunvalvontaohjeita (TIEL 732816. Laadunvalvontaohjeet 1990).

Alusrakenteen ja päällysrakenteen sitomattomien rakennekerrosten tiiviys-, kantavuus- sekä korkeus- ja tasaisuusvaatimukset olivat tielaitoksen laadunvalvontaohjeiden mukaiset lukuunottamatta louhepenkereiden alle tehtävän maapenkereen pinnan suurinta sallittua yksittäistä poikkeamaa suunnitelman mukaisesta tasosta, jolle oli tierakennustöiden työkohtaisessa työselityksessä annettu tiukemmat vaatimukset. Käytetyt laatuvaatimukset on esitetty taulukoissa 10 - 13. Laatuvaatimuksien toteutumista valvottiin suorittamalla vaaituksia ja kantavuus- sekä tiiviysmäärittäyksiä. Käytetyistä maa-aineksista tehtiin rakeisuusmäärittäyksiä.

Moottoritien päällysrakenteeseen tehtiin työaikana paaluvälillä 76100...77385 muutos, jossa alkuperäisen suunnitelman tavanomainen sorapäällysrakenne korvattiin tiesekoitusmenetelmällä tehdyllä maabetonirakenteella. Rakenteen kokonaispaksuutta ei muutettu. Alkuperäisen suunnitelman mukainen rakenne on esitetty kuvassa 1 ja toteutettu rakenne kuvassa 3 (kohta 3.2.2).

Massankäyttösuunnitelmaan tehtiin muutos Melkkolan sora-alueen maa-ainesten osoittauduttua arvioitua heikompilaatuisiksi. Työaikana otettiin käyttöön moottoritien itäpuolella paalulla 76000 sijaitseva Nuoritalon sora-alue. Yllä mainitun maabetoniosuuden jakava kerros sekä routimaton täyte ajettiin nimenomaan Nuoritalon sora-alueelta.

Louhe- ja sorapäällysrakenteen muutoskohdat määräytyivät työn aikana käytettävissä olleen louhemäärän perusteella, jolloin ne poikkeavat vähäisessä määrin liitteiden 1 - 6 pituusleikkauspiirustuksissa esitetyistä suunnitelman mukaisista kohdista. Päällysrakenteen kokonaispaksuuksiin ei tehty työn aikana muutoksia.

Muilta osin moottoritien päällysrakenne toteutettiin suunnitelman mukaisena. Tie valmistui ja otettiin liikenteelle lokakuussa 1992.

Taulukko 10. Moottoritien penkereen ja alusrakenteen yläpinnan tiiviysvaatimukset
(TIEL 732816. Laadunvalvontaohjeet 1990)

| Rakenne | Syvyys tien pinnasta [m] | Pienin sallittu keskimääräinen tiiviysaste eri kantavuusluokissa | | | |
|----------------------|--------------------------------|---|--------|----|--------|
| | | B | C ja D | E | F ja G |
| Penger | < 2 | 95 | 95 | 92 | - |
| | 2...5 | 90 | 90 | 87 | - |
| | > 5 | - | - | - | - |
| Maalaatikon pohja | | 90 | 90 | 87 | - |

Taulukko 11. Moottoritien päällysrakennekerrosten tiiviysastevaatimukset
(TIEL 732816. Laadunvalvontaohjeet 1990)

| Kerros | Pienin sallittu keskim. tiiviysaste [%] | Pienin sallittu yksit- täinen tiiviysaste [%] |
|----------|--|--|
| Kantava | 97 | 92 |
| Jakava | 97 | 92 |
| Suodatin | 95 | 90 |

Taulukko 12. Moottoritien rakennekerrosten kantavuusvaatimukset
(TIEL 732816. Laadunvalvontaohjeet 1990)

| Kerros | Kantavuusvaatimus [MN/m ²] | | Huom |
|--------------------|--|--------------------|----------------|
| | E ₂ | E ₂ min | |
| Kantava | 230 | 180 | |
| Jakava louhetta | E ₂ min + 50 | 130 | kantava 150 mm |
| Jakava soraa | E ₂ min + 50 | 90 | kantava 250 mm |

E₂ = keskiarvon odotusarvoE₂ min = pienin sallittu yksittäinen kantavuus

Taulukko 13. Moottoritien alusrakenteen ja rakenne kerrosten korkeus- ja tasaisuusvaatimukset, (TIEL 732816. Laadunvalvontaohjeet 1990)

| Kerros | Suurin sallittu yksittäinen poikkeama [mm] | Suurin sallittu epätasaisuus 5 m matkalla [mm] |
|---------------------------------------|--|--|
| Kantava | -20...+20 | 20 |
| Jakava | -40...+0 | 30 |
| Suodatin | -50...+50 | 50 |
| Alusrakenne | -100...+0 | - |
| Louhepengeri | -40...+20 | - |
| Matalan louhepenkereen alla maapenger | -100...+0 | - |

5.2 Toteutuneet rakennemateriaalit ja kerrospaksuudet

Tien rakenteen kerrospaksuuksien voidaan katsoa toteutuneen suunnitelman mukaisesti, koska alusrakenteen ja kunkin rakennekerroksen pinta on vaaittu työn aikana 20 m välein. Urakoitsija on saanut luvan alkaa rakentaa seuraavaa kerrosta vasta, kun edellisen kerroksen on mittauksin todettu täyttäneen asetetut laatuvaatimukset pinnan korkeusaseman suhteen. Taulukossa 14 esitetään työnaikaisten laadunvalvontavaaitusten tuloksia seurantakohteista. Maapenkereen korkeusasema (pl 75120) ja jakavan kerroksen korkeusasema (pl 76820) eivät täytä taulukossa 13 esitettyjä laatuvaatimuksia. Työmaalta saatujen tietojen mukaan urakoitsija on em. laadunvalvontavaaitusten jälkeen korjannut virheelliset kohdat, jonka jälkeen niiden korkeustaso on vielä tarkistettu vaaituksin tai ajokepin avulla.

Routamitoituksen seurantamittauksien suorittamista varten instrumentoitiin neljä tiepoikkileikkausta kohdassa 5.3.3 esitetyllä tavalla. Asennusten yhteydessä tehtyjä havaintoja on kuvattu kohdissa 5.3.4 ja 5.3.5. Seurantamittauksiin valittiin kolme louherakennetta ja yksi maabetonirakenne. Liitteissä 9 - 12 on esitetty seurantakohteiden poikkileikkaukset ja suunnitelman mukaiset rakennepaksuudet sekä työnaikaisia laadunvalvontatietoja pohjamaasta ja käytetyistä rakennemateriaaleista.

Taulukko 14. Laadunvalvontavaaaitusten mukaiset poikkeamat suunnitelman mukaisia alusrakenteen ja rakennekerrosten korkeustasoista.

| Kerros | Korkeusaseman poikkeama [mm], kolmen havainnon vaihteluväli | | | |
|---------------------|---|------------|-----------|-----------|
| | PI 66200 | PI 75120 | PI 76820 | PI 79500 |
| Kantava | ±20 | ±20 | - | ±20 |
| Kiilaus (louherak.) | -30...+10 | -40...+20 | - | -30...0 |
| Maabetoni | - | - | ±20 | - |
| Jakava | - | - | +20...+50 | - |
| Maapenger | - | -70...+140 | - | - |
| Pohjamaa | -90...-40 | - | -20...-10 | -30...-10 |

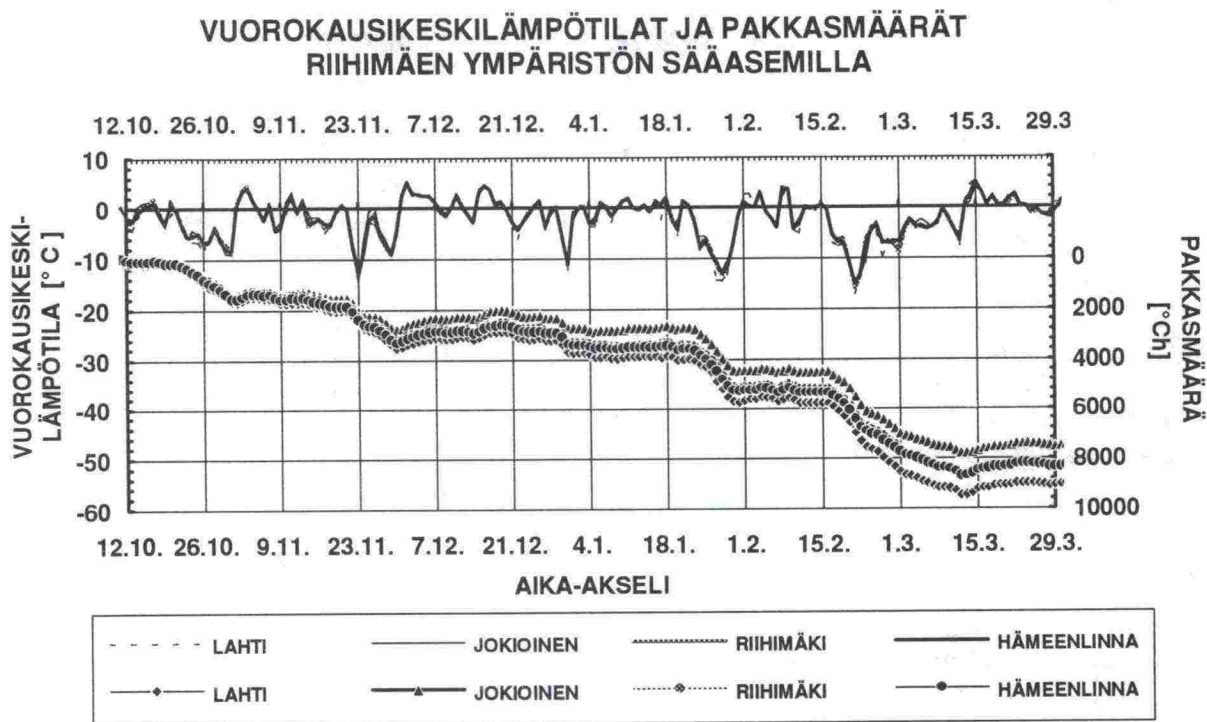
5.3 Seurantamittaukset ja havainnot

5.3.1 Tavoitteet

Seurantamittausten tavoitteena on kerätä tietoa roudan etenemisestä ja vaikutuksista tierakenteessa. Louhe- ja sorarakenteiden käyttäytymisestä tarkkaillaan säännöllisesti koko talven ajan. Havaintojen ja vertailulaskentojen avulla arvioidaan päällysrakenteen mitoituksen osuvuutta sekä myös louhepäällysrakenteen lämpötekniisiä ominaisuuksia. Tutkimuksessa arvioidaan noin 17 km pitkän moottoritieosuuden routimista neljän seurantakohteen havaintojen avulla.

5.3.2 Ilmastotiedot

Koska tutkimuskohteessa ei ollut läpi talven jatkuvaa lämpötilamittausta, ilmastotiedot hankittiin lähimmiltä säähavaintoasemilta. Näitä ilmastotietoja käytettiin routalaskennoissa ja materiaalien (louheen) lämpötekniisten ominaisuuksien arvioinnissa. Ilmastotiedot saatiin Ilmatieteen laitoksen pikatielastoista (Jokioinen, Lahti) sekä Tielaitoksen tiesääasemien lämpötilatiedoista (Riihimäki, Hämeenlinna). Näistä sääasemista kylmintä oli Lahdessa ja lämpimintä Jokioisissa. Riihimäen ja Hämeenlinnan tiesääasemien lämpötiloista lasketut pakkasmäärät asettuvat Lahden ja Jokioisten pakkasmäärien keskivaiheille (kuva 6 ja taulukko 15). Lahden ja Jokioisten pakkasmäärät on laskettu vuorokausikeskilämpötiloista. Riihimäen ja Hämeenlinnan tiesääasemien pakkasmäärät on laskettu noin 15 minuutin välein tehdyistä lämpötilahavainnoista.



Kuva 6. Talven 1992 - 93 vuorokausikeskilämpötilat ja pakkasmäärät

Ilmatieteen laitoksen Jokioisten säähavaintojen mukaan routamitoituksen seurantalvi 1992 - 93 ($F_{hav} = 7790 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$) oli lauhempi kuin kerran 20 vuodessa toistuva leuto talvi ($F_{20} = 8450 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$). Pakkasmäärältään ($F_{hav} = 8400 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$) lähes vastaava oli myös talvi 1988-89, jolloin vt 3:n routamitoitusta varten tehtiin roudan syvyys- ja routanousumittauksia. Talvea 1992-93 koskevista routalaskelmissa on käytetty pääasiassa Riihimäen tiesäähavainnoista laskettua pakkasmäärää, jolloin talven 1992 - 93 pakkasmääräksi saatiin $F_{hav} = 8670 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$.

Suunnitteluvaiheessa kyseisen tieosan Riihimäki P - Virala routamitoituksen lähtökohtana on käytetty mitoituspakkasmäärää $F_{mit} = 30000 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$. Jokioisten säätilastojen mukaan on kerran 10 vuodessa toistuva suurin pakkasmäärä $F_{10} = 29930 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$ ($= F_{mit}$).

Edellä esitetyt tilastolliset todennäköisyysarvot perustuvat Ilmatieteen laitoksen säähavaintoaineistoon vuosilta 1961-90. Pakkasmäärät on laskettu tästä viimeisimmästä tilastoaineistosta vuorokausikeskilämpötiloja käyttäen. Edellisen tilastojakson (1931-60) pakkasmäärät on laskettu kuukausikeskilämpötiloja käyttäen (Mäkelä 1979, Talonrakennuksen routasuojausohjeet 1987). Laskentatavasta johtuen eri tilastojaksoilta (1931-60 ja 1961-90) lasketut pakkasmäärät poikkeavat toisistaan enimmillään 2000...3000 $^{\circ}\text{Ch}$, koska pakkaskauden alku- ja loppuosat on käsitelty tarkemmin jakson 1961-90 pakkasmääriä laskettaessa (Kivikoski 1993).

Tiesääasemilla ulkoilman lämpötilan mittaus tapahtuu anturilla, joka on sijotettu noin 8 m korkeudelle tienpinnasta. Jos otaksutaan, että 8 m korkeudessa on keskimäärin 0,3°C kylmempää, kuin lähellä maanpintaa, saadaan talven pakkasmääräksi vastaavasti noin 1100 °Ch suurempi arvo. Tämä ero on likimäärin Jokioisten sääaseman ja tiesääasemien pakkasmäärien erotus havaintotalvena (vrt. taulukko 15). Lämpömittarin korkeusasmaa ei ole otettu huomioon routalaskelmissa, vaan pakkasmääränä on käytetty suoraan 8 m korkeudesta havaittuista lämpötilosta laskettua pakkasmäärää (Riihimäen tiesääaseman $F = 8670$ °Ch). Edellä mainittu pakkasmäärien ero ei ole merkittävä roudan syvyyksiä laskettaessa.

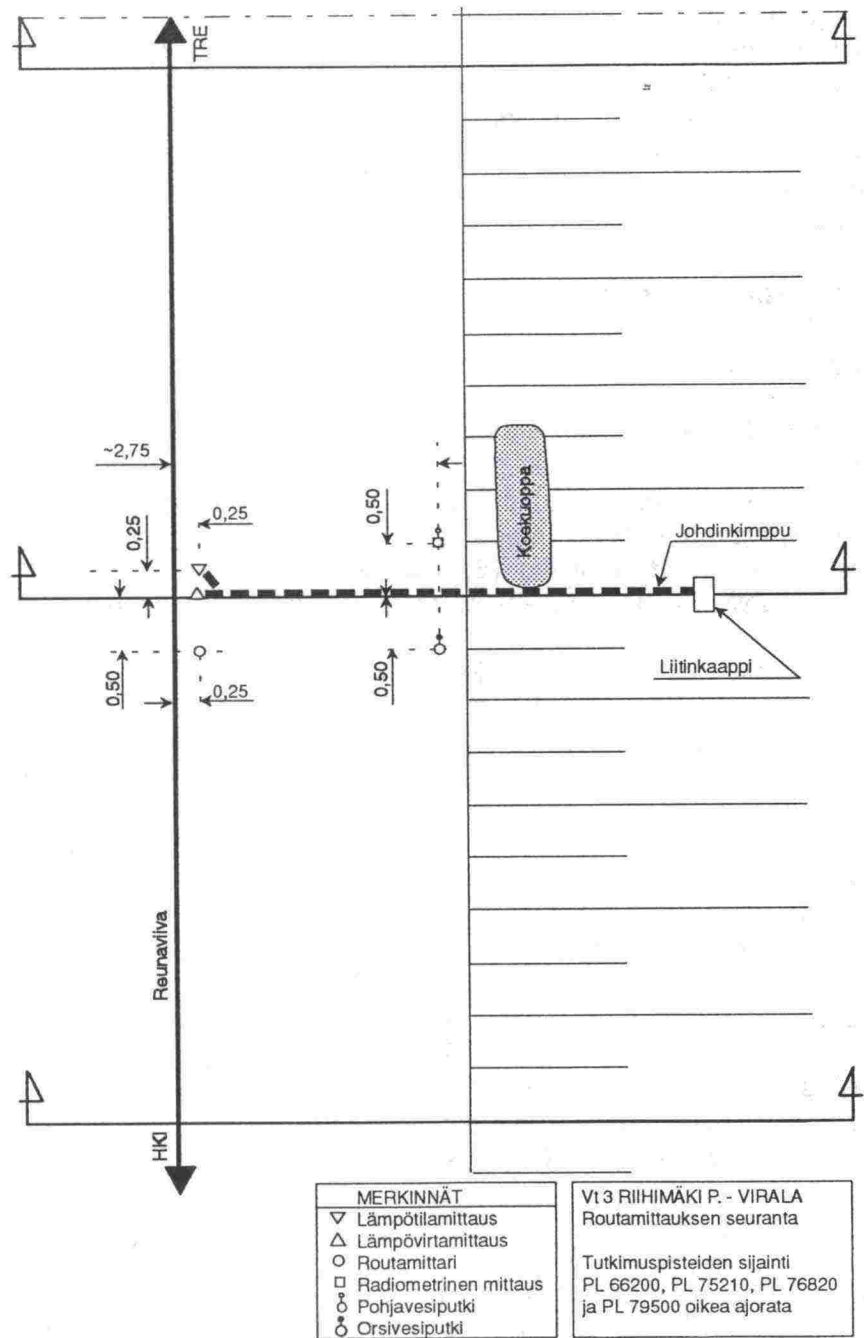
Seurantakohteissa mitattiin myös lumikerroksen paksuutta tien luiskassa aurausvallin kohdalla. Suurin mitattu paksuus oli vain 10 cm. Roudansyvyysmittaukset tehtiin noin 3 m etäisyydeltä "aurausvallista", joten lumella ei ole vaikutusta mitattuihin roudan syvyyksiin.

Taulukko 15. Talven 1992-93 pakkasmäärät Ilmatieteen laitoksen Jokioisten ja Lahden säähavaintoasemilla sekä Tielaitoksen Hämeenlinnan ja Riihimäen tiesääasemilla.

| Sääasema | Pakkasmäärä [°Ch] | | | |
|-------------|--------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | F ₉₂₋₉₃ | F ₋₁₀ | F ₋₂₀ | F ₁₀ |
| Jokioinen | 7790 | 10137 | 8448 | 29928 |
| Lahti | 9480 | 11940 | 10257 | 31670 |
| Hämeenlinna | 8690 | | | |
| Riihimäki | 8670 | | | |

5.3.3 Asennukset

Routamitoituksen seurantatutkimukset ja -mittaukset keskittyvät keskittyivät suunnitteluvaiheen havaintokohteiden läheisyyteen. Mittauslaitteet asennettiin syksyllä 1992 tieosan Riihimäki P -Virala paaluille 66200, 75120, 76820 ja 79500 moottoritien itäisen (oikean) ajoradan oikealle pientareelle (kuva 7, liitteet 1, 4, 5 ja 9 - 12). Seurannan kohteena olivat 1) roudan syvyys, 2) tienpinnan routanousu, 3) tierakenteen kosteus-tila, 4) tierakenteen tiiviyden muutokset, 5) lämpövirta tierakenteen pinnassa sekä 5) pohjaveden ja orsiveden pinnan asema. Asennukset tehtiin VTT:n TGL-laboratorion toimesta Tielaitoksen Hämeen piirin kairausryhmän avustamana.



Kuva 7. Mittauskohteiden instrumentointi. Mittauslaitteiden sijoittelu on sama kaikissa seurantakohteissa

Routamittarit (metyleenisini, pituus 3 m), lämpötilamittausjohtimet (kupari-konstantaaniparikimppu, pituudet 2,6 - 3,6 m) sekä pohjavesi ja orsivesiputket asennettiin porakoneella tehtyihin reikiin. Asennusten jälkeen reiät täytettiin hiekalla ja pintaosasta myös kuivabetonilla. Routamittari ja lämpötilamittausprofiili sijoitettiin 15 - 25 cm moottoritien reunaviivasta sivuojaan päin noin metrin etäisyydelle toisistaan. Lämpövirta-anturi on edellisten välissä 7 - 10 cm syvyydessä asfaltin pinnasta.

Pohjavesiputket (kokonaispituus 4,0 m, paitsi paalulla 75120 5,5 m) ja orsivesiputket (pituus 1,7...2,0 m) ovat lähellä asfalttipäällysteen reunaa (etäisyys reunasta noin 0,5 m) noin metrin etäisyydellä toisistaan. Pohjavesiputken siiviläkärki on pohjamaassa tien rakennekerrosten alapuolelle. Orsivesiputken siiviläkärki sijoitettiin puolittain pohjamaahan ja puolittain rakennekerrokseen. Pohjavesi putki toimii myös radiometristen mittausten suojaputkena.

5.3.4 Rakennetiedot kairausten ja koekuoppatutkimusten mukaan

Mittauslaitteiden asennusten yhteydessä kairaaja arvioi kerrosrajojen syvyyssaseman. Tien luiskaan kaivettiin koekuopat välittömästi asfaltoidun alueen ulkopuolelle. Kuopista otettiin maanäytteitä ja määritettiin kerrosrajoja. Kairaajan havaintojen mukaan rakennekerrosten kokonaispaksuudet ovat vähintään suunnitelman mukaisia, muualla paitsi paalun 79500 kohteessa, jossa kairaajan ilmoittama rakennepaksuus on 120 mm suunnittelua pienempi (vrt. taulukko 16). Kaikista koekuopista ei pystytty määrittämään päällysrakenteen alapinnan asemaa, koska kuoppiin tuli vettä.

Päällysrakenteen kokonaispaksuudet on esitetty taulukossa 16. Suunnitelman mukaisissa paksuuksissa ei ole mukana kulutuserrosta (80 mm), jota ei vielä ole rakennettu. Taulukon 14 laadunvalvontavaaitusten mukaan laskettuna rakennepaksuudet poikkeavat suunnitellusta noin -140...+90 mm. Jäljempänä esitettävissä routalaskelmissa on käytetty suunnitelman mukaisia rakennepaksuuksia, koska seurantatutkimuksen yhteydessä tehtyjen kohdekohtaisten kairausten ja koekuoppahavaintojen perusteella ei ole mahdollista arvioida toteutuneita rakennepaksuuksia muuta kuin kyseisessä kohteessa. Lisäksi louhekerroksen alapinnan epätasaisuus ja kairaushavaintojen tarkkuus (noin ± 100 mm) huomioon ottaen kairaajan havainnot vastaavat likimäärin suunnitelman mukaisia rakennepaksuuksia. Asennusten yhteydessä otettujen rakenne- ja maanäytteiden vesipitoisuudet ja rakeisuuskäyrät on esitetty liitteissä 9 - 12 (16.10 92 päivätyt arvot). Liitteiden 9 - 12 muut materialitiedot ovat suunnittelun ja rakentamisen (laadunvalvonnan) yhteydessä otetuista näytteistä.

Taulukko 16. Päällysrakenteen kokonaispaksuus kairausten, koekuoppatutkimusten ja tien rakennussuunnitelman mukaan.

| Paalu/rakenne | Päällysrakenteen kokonaispaksuus [mm] | | |
|------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| | Kairaajan hav. | Koekuopasta | Suunniteltu |
| 66200/louherakenne | 1800...1900 | (1200) | 1520 |
| 75120/louherakenne | 1800 | 1700...1800 | 1520 |
| 76820/maabet./sorarak. | 1500 | - | 1320 |
| 79500/louherakenne | 1800 | - | 1920 |

5.3.5 Mittaustulokset ja havainnot

Roudan syvyyttä, tierakenteen lämpötilaa, lämpövirtaa sekä pohja- ja orsi-vedenpinnan korkeutta seurattiin koko talven ajan kerran 1 - 2 viikossa. Mittausajankohdat on nähtävissä kuvista 8a - 8d. Kuvissa on esitetty roudan syvyyden ja pohjavedenpinnan muuttuminen talven aikana. Tierakenteen ja pohjamaan lämpötilamittausten tulokset (lämpötilaprofiilit) on esitetty liitteissä 14 - 17.

Talven routanousun seuraamista varten seurantakohteissa tehtiin syksyllä ennen pakkaskauden alkua ns. nollavaaitus. Laajempi routanousuvaaitus ehdittiin tehdä vain kerran (16.-18.2.1993) pakkaskauden lyhydestä johtuen. Tien pituusleikkaus vaaittiin reunaviivoja pitkin 100 m kumpaankin suuntaan kaikissa seurantakohteissa.

Poikkileikkausvaaitukset (3 kpl /seurantakohde) tehtiin neljä kertaa varsinaisesta tutkimusleikkauksesta ja sen molemmiin puolin (± 5 m). Edellä mainitut havainnot ja vaaitukset teki vt 3 projektin mittausryhmä.

Tierakenteen kosteuden ja tiiviyden muutoksia seurattiin radiometristen mittausten avulla. Radiometriset mittaukset tehtiin jokaisen seurantakohteen pohjavesiputkesta. VTT:n TGL-laboratorion toimesta syksyllä sulasta tierakenteesta ja talven aikana kaksi kertaa jäätyneestä rakenteesta. Kuvissa 9a - 9d on esitetty yhdistettynä kolmen mittauskerran tulokset.

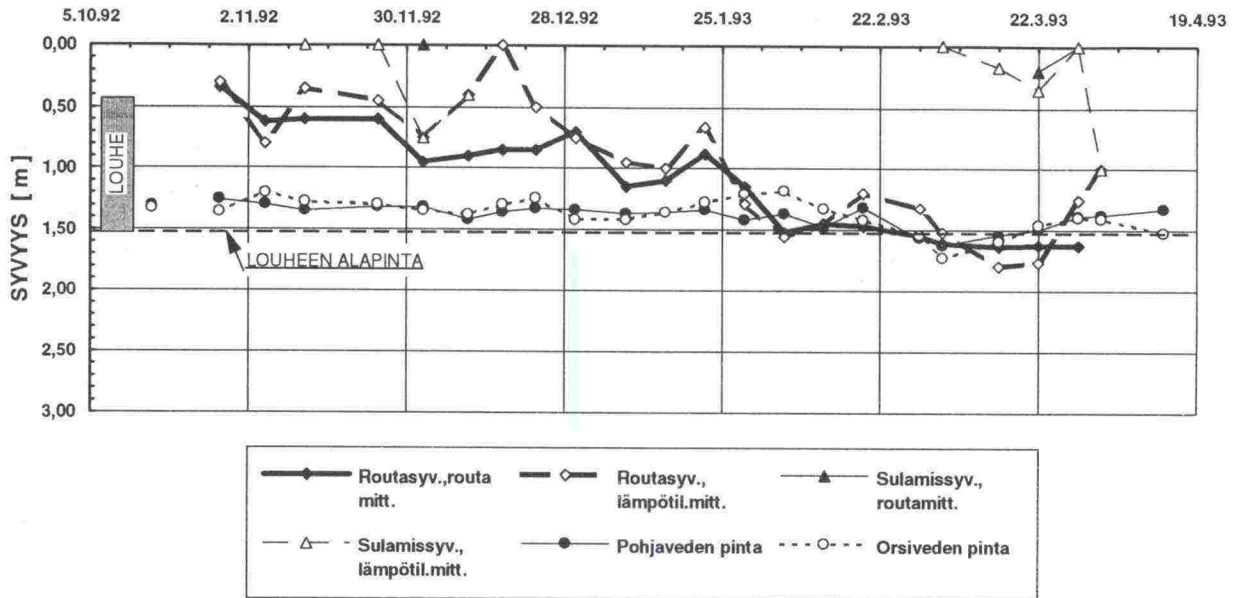
Tienpinnan routanousua seurattiin tienpintaan asennettujen naulojen kantojen tarkkavaaituksin. Tien reunaviivoja pitkin tehtyjen pituusleikkausvaaitusten tulokset on esitetty kuvissa 10a - 10d. Samaan kuvaan on piirretty myös 16.-18.2.93 tehdyn vaaituksen mukaan lasketut routanousukäyrät (pituusprofiilit). Merkittävää routanousua (10...30 mm) on tapahtunut ainoastaan paaluvälin 76720...76920 seurantakohteessa.

Tienpinnan korkeusaseman muuttuminen talven kuluessa ilmenee kuvista 11a - 11d. Seurantapoikkileikkauksien kohdalla routanousut olivat kohteittain taulukon 17 mukaiset (paalu/suurin mitattu tien pinnan routanousu):

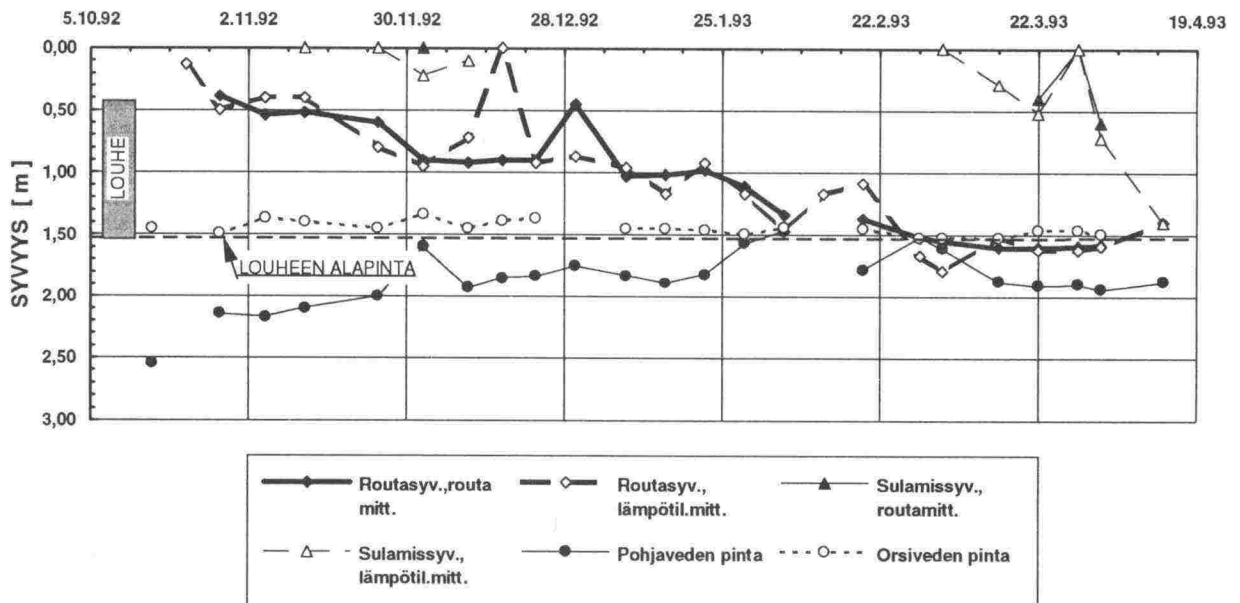
Taulukko 17. Suurimmat mitatut poikkileikkausvaaituksin routanousuarvot

| Paalu | Routanousu | Paalu | Routanousu |
|-------|------------|-------|------------|
| 66195 | 9 mm | 70815 | 20 mm, |
| 66200 | 8 mm | 76820 | 19 mm |
| 66205 | 4 mm | 76825 | 17 mm |
| 75115 | 8 mm | 79495 | 15 mm |
| 75120 | 6 mm | 70500 | 10 mm |
| 75125 | 7 mm | 79505 | 17 mm |

a)

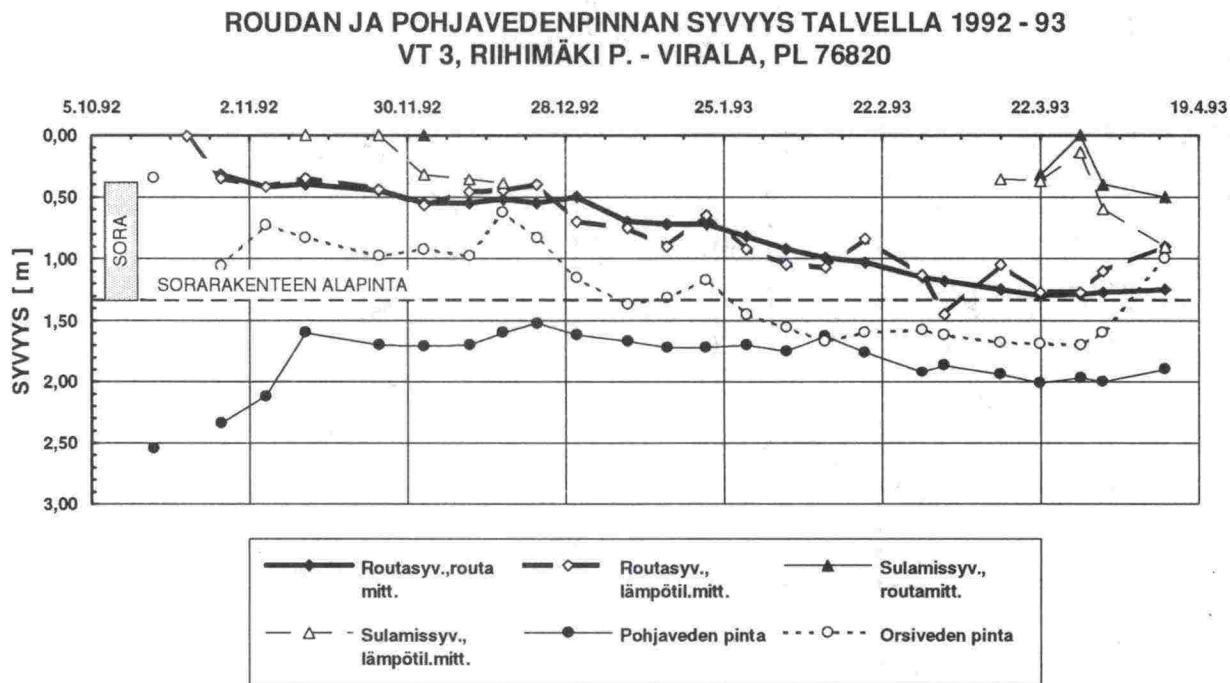
ROUDAN JA POHJAVEDENPINNAN SYVYYS TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA, PL 66200

b)

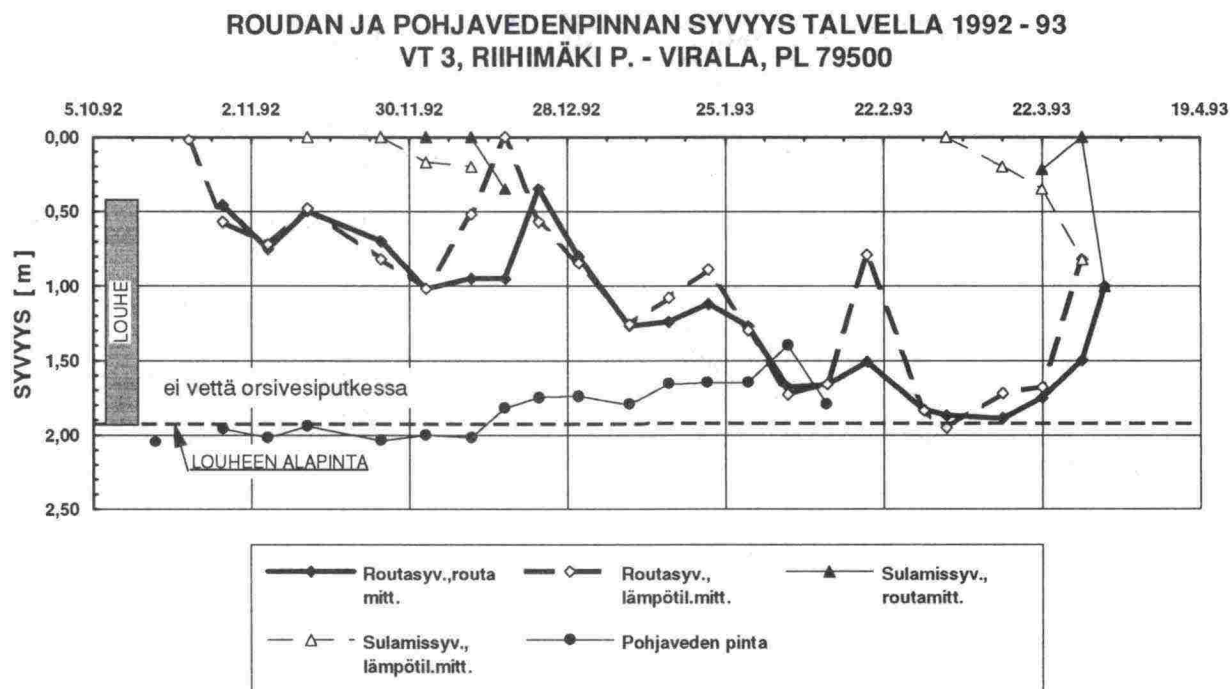
ROUDAN JA POHJAVEDENPINNAN SYVYYS TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA, PL 75120

Kuva 8. a) PI 66200 ja b) PI 75120. Roudan syvyys-, sulamissyvyys- ja pohjavesihavainnot Roudan syvyys on piirretty sekä routamittari- että lämpötilahavaintojen mukaan määritettynä

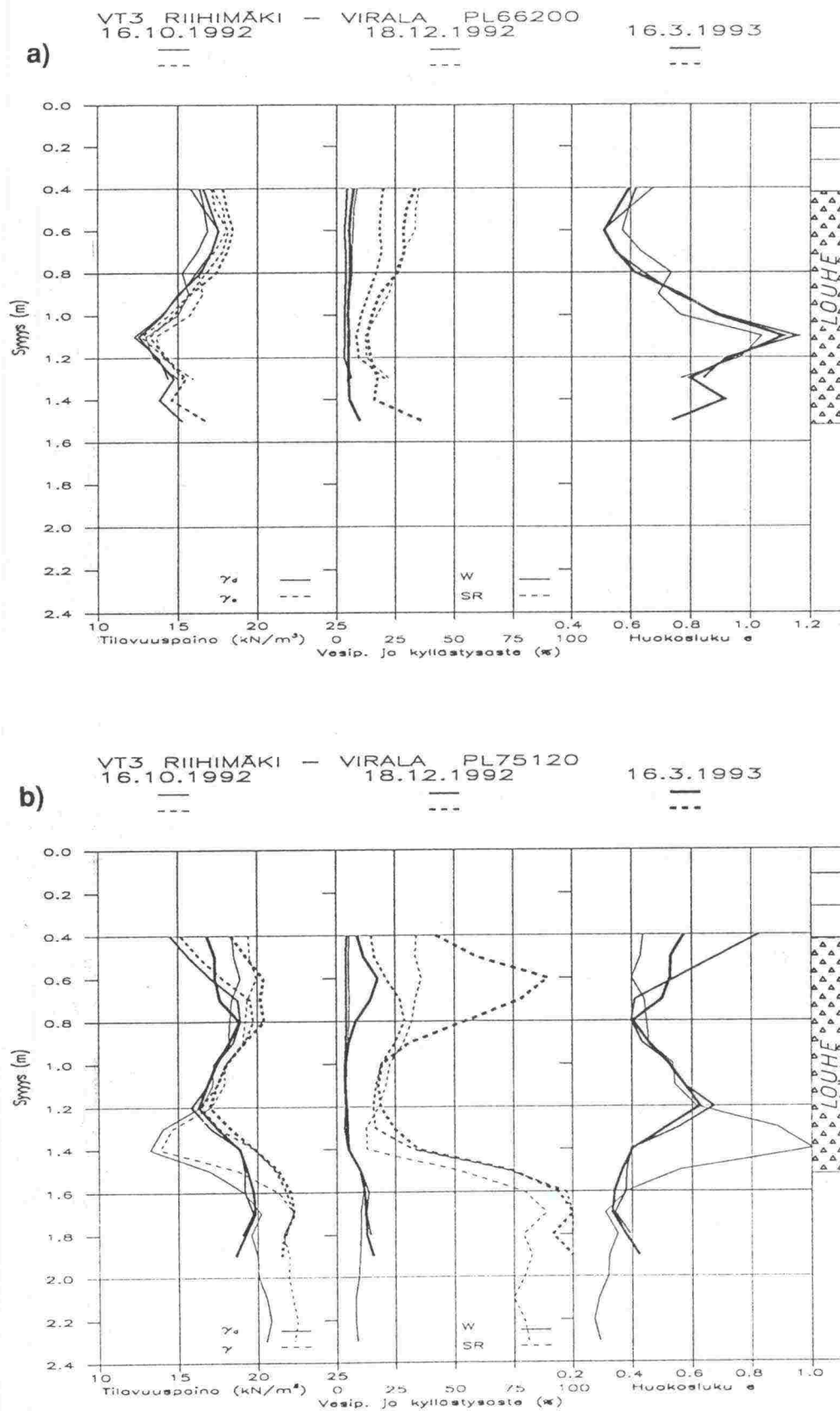
c)



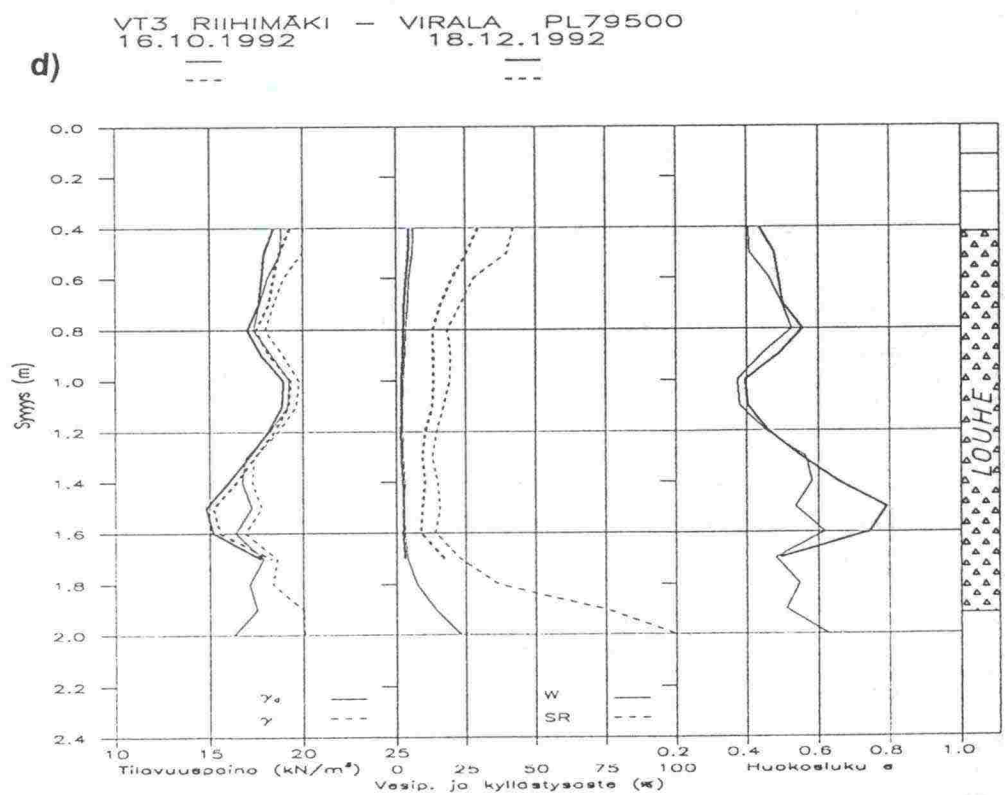
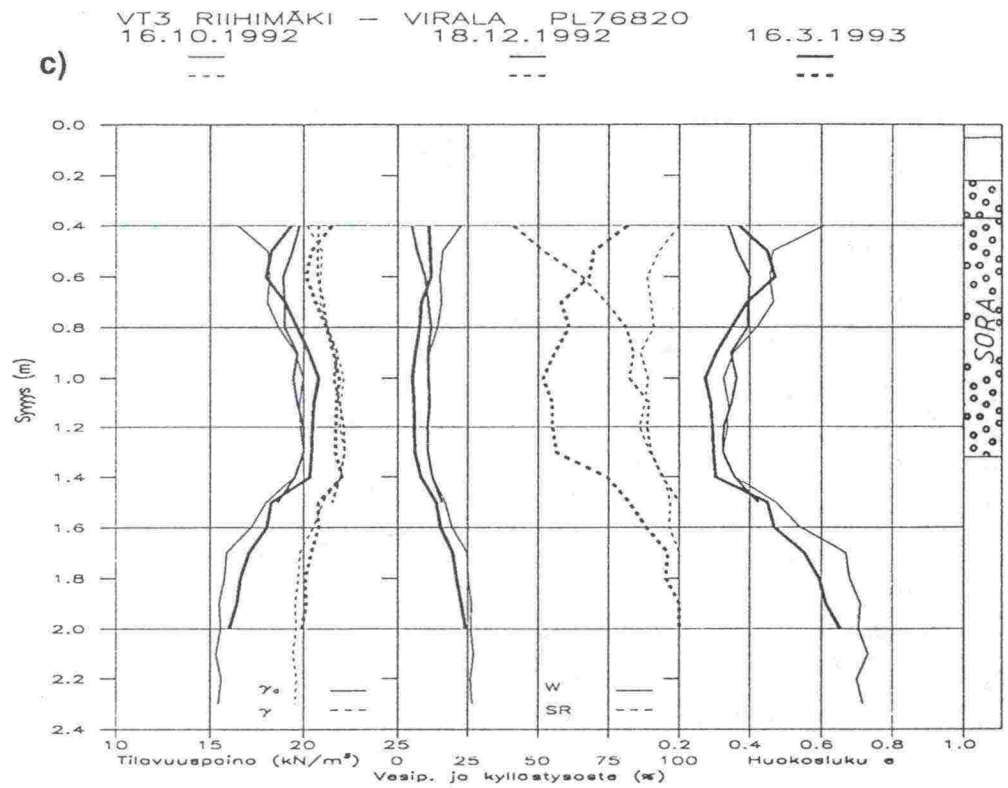
d)



Kuva 8. c) PI 76820 ja d) PI 79500. Roudan syvyys-, sulamissyvyys- ja pohjavesihavainnot. Roudan asyvyys on piirretty sekä routamittari- että lämpötilahavaintojen mukaan määritettynä.



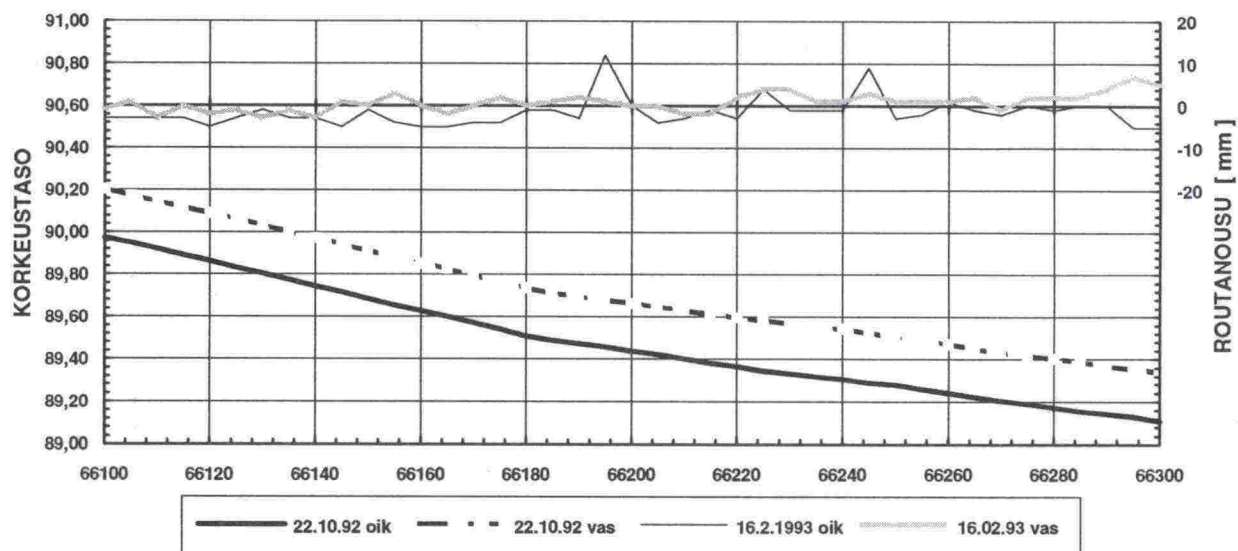
Kuva 9. a) PI 66200 ja b) PI 75120. Radiometrinen mittaus tuloksia.



Kuva 9. c) PI 76820 ja d) PI 79500. Radiometristen mittausten tuloksia.

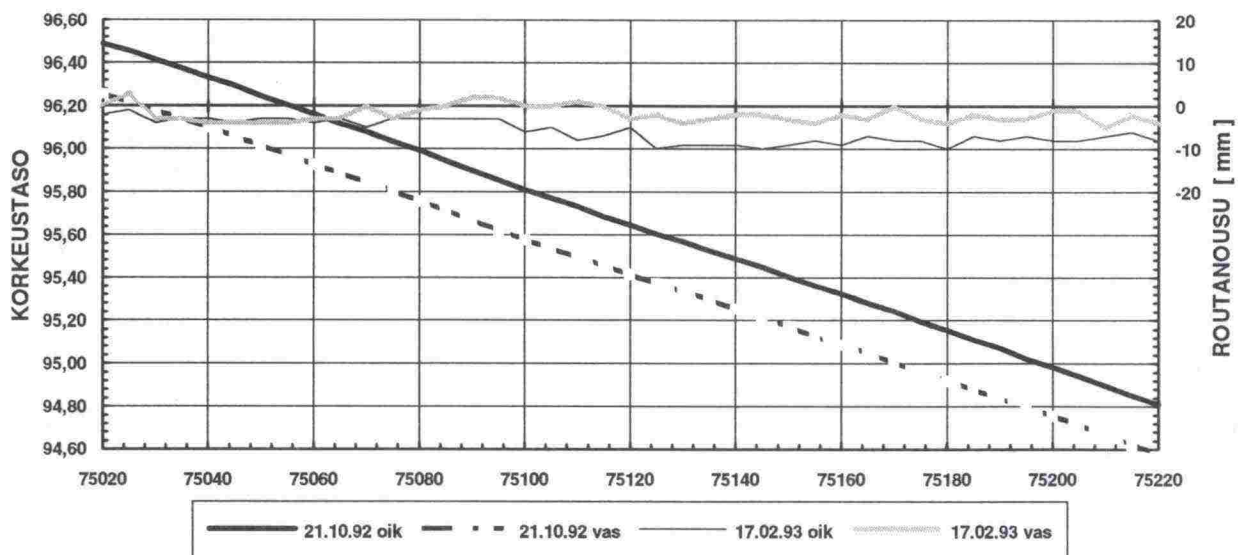
a)

PITUUSLEIKKAUS- ja ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PITUUSLEIKKAUS PLV 66100 - 66300



b)

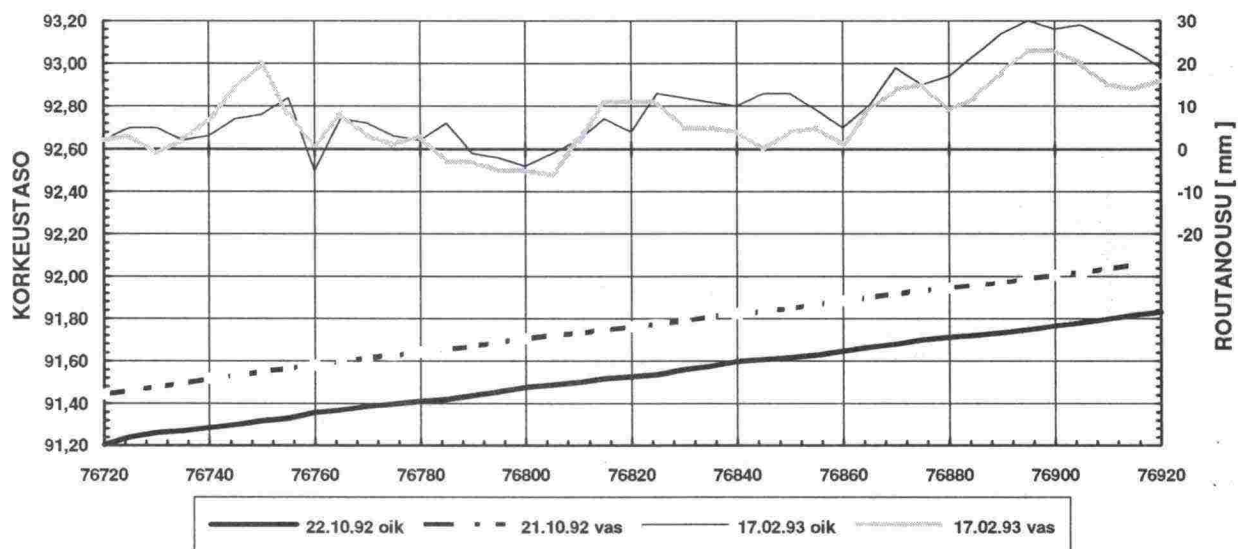
PITUUSLEIKKAUS- ja ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PITUUSLEIKKAUS PLV 75020 - 75220



Kuva 10. a) PI 66200 ja b) PI 75120. Pituusleikkaus- ja routanousuvaaitus.
Routanousu on 18.2.93 ja 23.10.92 tehtyjen vaaitusten erotus.
Merkinnät oik. ja vas. tarkoittavat ajoradan vastaavia reunaviivoja.

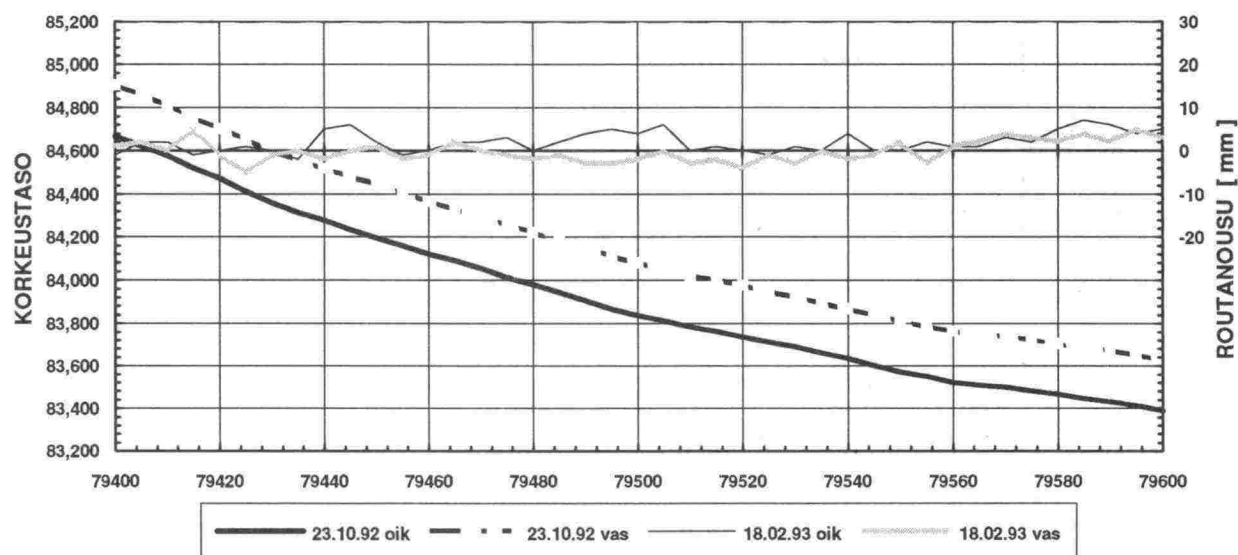
c)

**PITUUSLEIKKAUS- ja ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PITUUSLEIKKAUS PLV 76720 - 76920**



d)

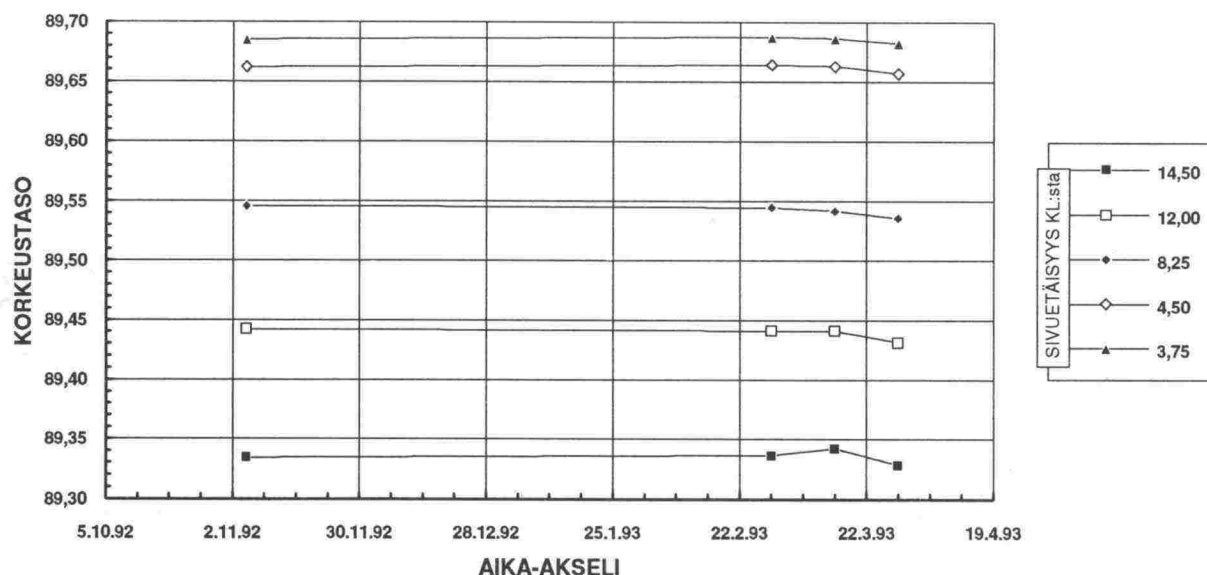
**PITUUSLEIKKAUS- ja ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PITUUSLEIKKAUS PLV 79400 - 79600**



.Kuva 10. c) PI 76820 ja d) PI 79500. Pituusleikkaus- ja routanousuvaaitus.
Routanousu on 18.2.93 ja 23.10.92 tehtyjen vaaitusten erotus.
Merkinnät oik. ja vas. tarkoittavat ajoradan vastaavia reunaviivoja.

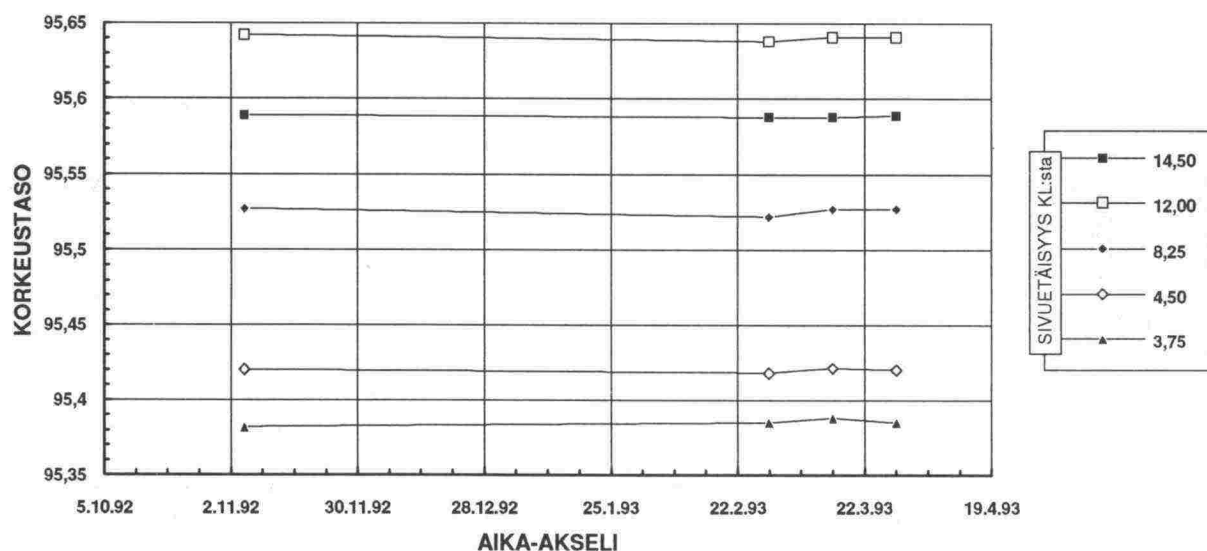
a)

**TIEN PINNAN ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA, PL 66200**



b)

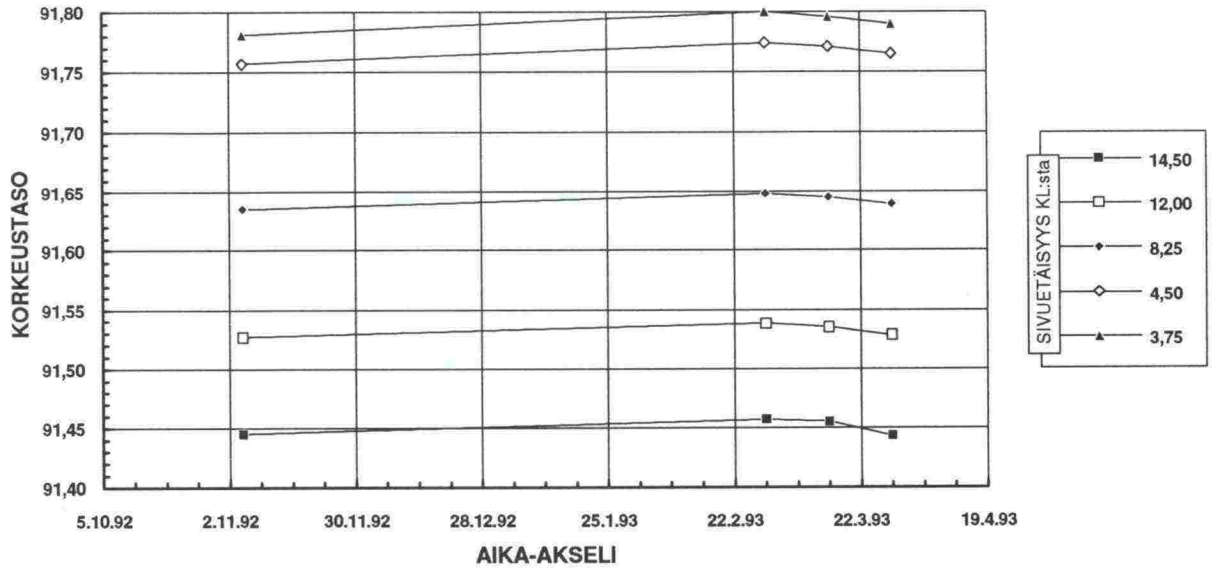
**TIEN PINNAN ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 75120**



Kuva 11. a) PL 66200 ja b) PL 75120. Tien pinnan korkeustason muuttuminen ajan myötä. Sivuetäisyydet: 4,50 on vasen reunaviiva, 8,25 ajoradan keskiviiva ja 12,00 on oikea reunaviiva.

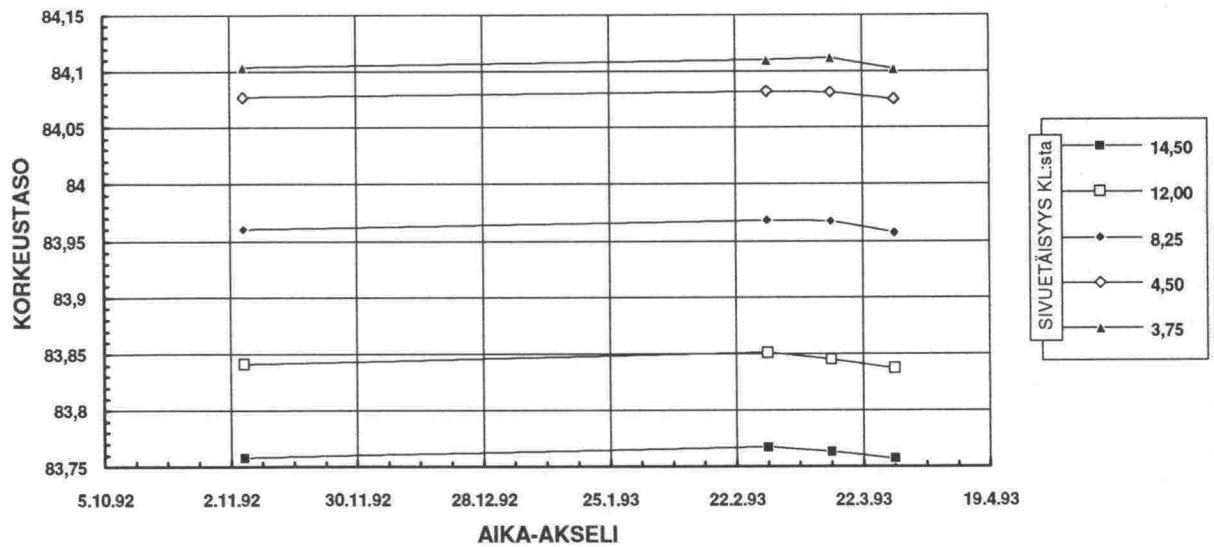
c)

**TIEN PINNAN ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA, PL 76820**



d)

**TIEN PINNAN ROUTANOUSUVAAITUS
RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 79500**



Kuva 11. c) PL 76820 ja d) PL 79500. Tien pinnan korkeustason muuttuminen ajan myötä. Sivuetäisyydet: 4,50 on vasen reunaviiva, 8,25 ajoradan keskiviiva ja 12,00 on oikea reunaviiva.

6. SUUNNITELTU JA HAVAITU KÄYTTÄYTYMINEN

6.1 Vertailu laskettu/havaistu routasyvyys

Tierakenteesta talven 1992 - 93 havaittuja roudan syvyyksiä ja routanousuja verrattiin vastaaviin laskettuihin arvoihin. Laskennat tehtiin samalla SSR-routaohjelmalla, jolla tierakenteen routamitoituskin oli tehty (vrt. kohta 4.4.2). Louherakenteita laskettaessa materiaaliominaisuuksina käytettiin taulukon 18 mukaisia arvoja. Paalun 75120 kohteessa louheen alla oli moreenipenger. Ominaisuudet määritettiin syksyn 1992 näytetutkimusten ja radiometristen mittausten tuloksiin perustuen. Ne poikkeavat jonkin verran mitoitusvaiheessa käytetyistä arvoista (kohta 4.4.3, taulukko 6). Merkittävin ero on louheen vesipitoisuus, joka oli 3 % mitoitusvaiheen vesipitoisuuden 1 % sijasta. Louheen vesipitoisuuden vaikutus laskentatuloksiin on kuitenkin vähäinen, koska sitä ei tässä tapauksessa käytetty hyväksi louheen lämmönjohtavuusarvon määrittämisessä (laskennoissa käytettiin eri lämmönjohtavuusarvoja). Päälysrakennemateriaalien (paitsi louheen) ja pohjamaan lämpötekniset ominaisuudet määritettiin taulukon 18 tietojen perusteella. Lämmönjohtavuudet arvioitiin Kerstenin menetelmällä, joka on sisällytetty SSR-routaohjelmaan.

Lauhasta talvesta johtuen routa tunkeutui havaintojen mukaan enimmäkseen vain 80...120 mm pohjamaahan tien rakennekerrosten alapuolelle (pl 66200 ja 75120). Maabetoni/sorarakennekohteessa (pl 76820) routa ei läpäissyt noin 1320 mm paksua päälysrakennetta eikä ilmeisesti myöskään paksua louherakennetta (1920 mm) paalun 79500 kohteessa. Routamittareista havaitut ja lämpötilamittausten avulla määritetyt roudan syvyydet esitetään uudelleen kuvissa 12a -12d. Kuviin on lisätty lasketut roudan syvyydet, jotka on saatu talven 1992-93 pakkasmäärää (F_{hav}) ja mitoituspakkasmäärää (F_{mit}) käyttäen.

Talven 1992-93 roudan syvyyksiä laskettiin käyttämällä louheella useita eri lämmönjohtavuusarvoja. Kuviin 12a, 12b ja 12d on valittu parhaiten havaintoja vastaavien laskentojen roudan syvyydet. Laskentatulokset on esitetty myös taulukossa 19. Näissä laskennoissa louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuutena oli 1,4 W/mK ja sulan tilan lämmönjohtavuutena 1,1 W/mK (kts. kohta 6.2).

Laskettuihin ja havaittuihin roudan syvyyksiin näyttää vaikuttavan merkittävästi louhekerroksen paksuus. Routa läpäisi louhekerroksen myös suhteellisen lauhan talven 1992-93 pakkasmäärällä ($F_{hav} = 8660 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$). Paalulla 79500, jossa suunnitelmien ja myös kairaushavaintojen mukaan on paksumpi louhekerros, kuin paaluilla 66200 ja 75120, routa tunkeutui vastaavasti syvemmälle. Sekä mitaushavaintojen että routalaskelmien mukaan havaintotalven roudan syvyys paalulla 79500 oli 250...310 mm suurempi kuin paaluilla 66200 ja 75120. Vastaava rakennepaksuuskien ero on suunnitelmien mukaan 400 mm. Myös laadunvalvontietojen mukaan em. kohteiden todellinen päälysrakenteiden paksuusero on likimäärin suunnitelman mukainen (kohta 5.2).

Laskentojen mukaan routa ei tunkeudu mitoitustalven pakkasmäärälläkään ($F_{mit} = 30000 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$) kovin syvälle pohjamaahan. Ohuemman louherakenteen (1520 mm) kohdalla pohjamaa (siltti) routaantuu noin 320 mm ja paksumman (1920 mm) louherakenteen kohdalla hieman alle 200 mm. Vastaavat routanousuarviot ovat 48 mm ja 30 mm, kun pohjamaan segregatiopotentialina käytetään arvoa $SP_0 = 6 \text{ mm}^2/\text{Kh}$.

Paalun 76820 kohteessa routimaton sorapenger oli radiometristen mittaus-
ten mukaan huomattavan märkä. Laskenta vesipitoisuutena käytettiin nyt
arvoa $w = 8 \%$, kun suunnitteluvaiheessa vesipitoisuudeksi otaksuttiin arvo
 $w = 5 \%$. Laskettu ja havaittu roudan syvyys vastasivat hyvin toisiaan.
Mitoituspakkasmäärällä routa tunkeutuu lähes 600 mm silttiseen
pohjamaahan. Vastaava routanousuarvio SP-arvolla $6 \text{ mm}^2/\text{Kh}$ on 73 mm.

*Taulukko 18. Louherakenteen rakennekerrosten laskentaominaisuudet
vertailulaskennoissa.*

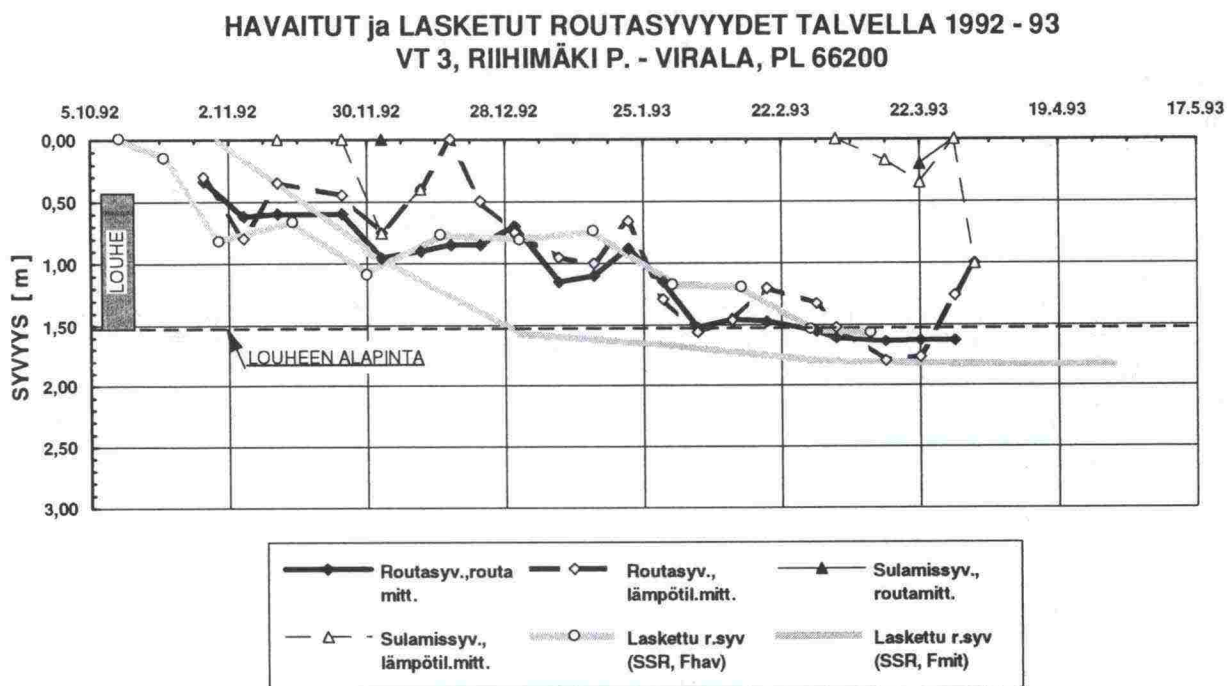
| Kerros | Paksuus [mm] | Vesipitoisuus [%] | Kuivatiheys [t/m ³] | Segregaatiopotentiali [mm ² /Kh] |
|-------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|--|
| Asfaltti | 120 | 1 | 2,4 | 0 |
| Kantava | 150 | 3 | 2,1 | 0 |
| Kiilaus | 150 | 4 | 2,1 | 0 |
| Jakava (louhe) | 1100/1500 | 3 | 1,7 | 0 |
| Pohjamaa (siltti) | - | 28,5 | 1,5 | 6 |

*Taukukko 19. Havaitut ja lasketut roudan syvyydet. Roudan syvyydet on havaittu
routamittarin ja lämpötilamittausten avulla sekä laskettu SSR-
ohjelmalla.*

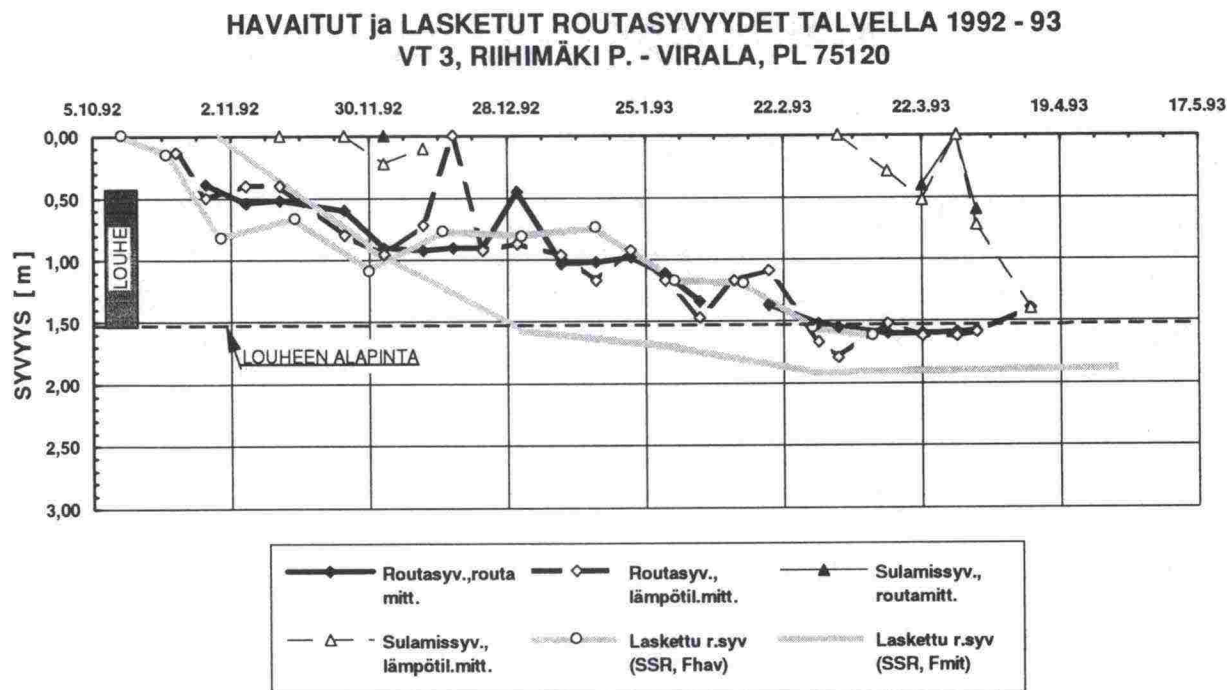
| Paalu | Päällysrakenteen kokonaispaksuus [mm] | Havaittu maksimi roudan syvyys [mm] | | Laskettu maksimi roudan syvyys [mm] | |
|-------|---|--|---------------|--|----------|
| | | routamitt. | lämpötilmitt. | F_{hav} | F_{10} |
| 66200 | 1520 | 1640 | 1800 | 1570 | 1834 |
| 75120 | 1520 | 1600 | 1790 | 1620 | 1920 |
| 76820 | 1320 | 1290 | 1270 | 1310 | 1920 |
| 79500 | 1920 | 1890 | 1950 | 1880 | 2110 |

Taulukon roudan syvyyksiä laskettaessa (SSR-routaohjelma) pakkasmääränä oli talven
1992-93 pakkasmäärä $F_{hav} = 8660 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$ ja kerran kymmenessä vuodessa toistuva suurin
pakkasmäärä $F_{10} = 30000 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$.

a)

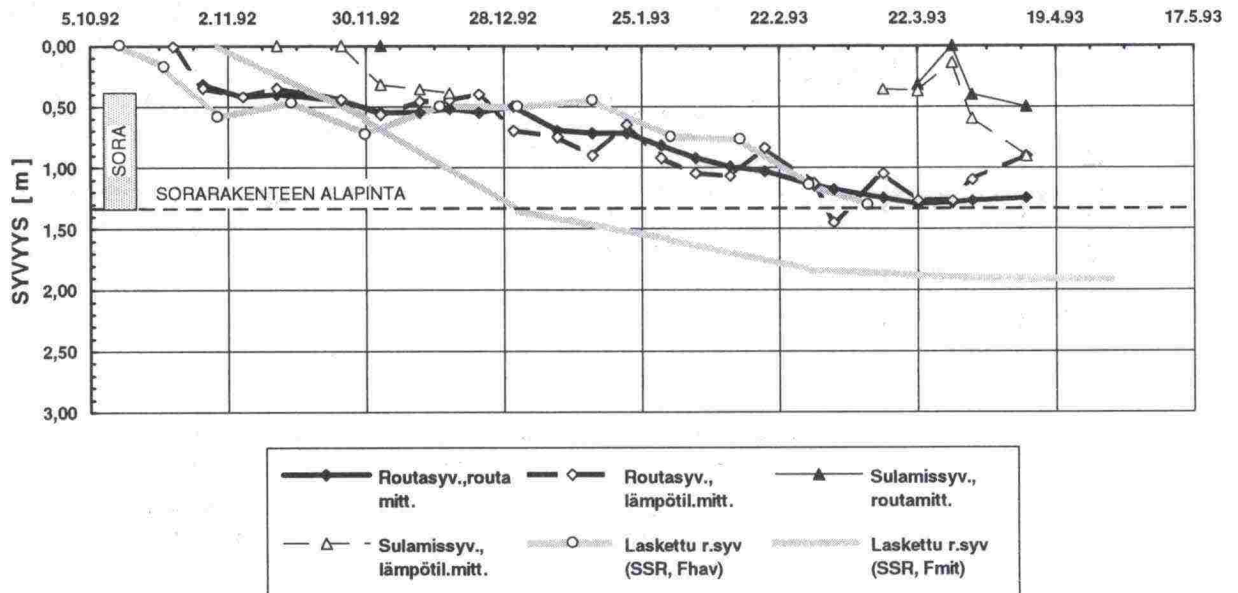


b)

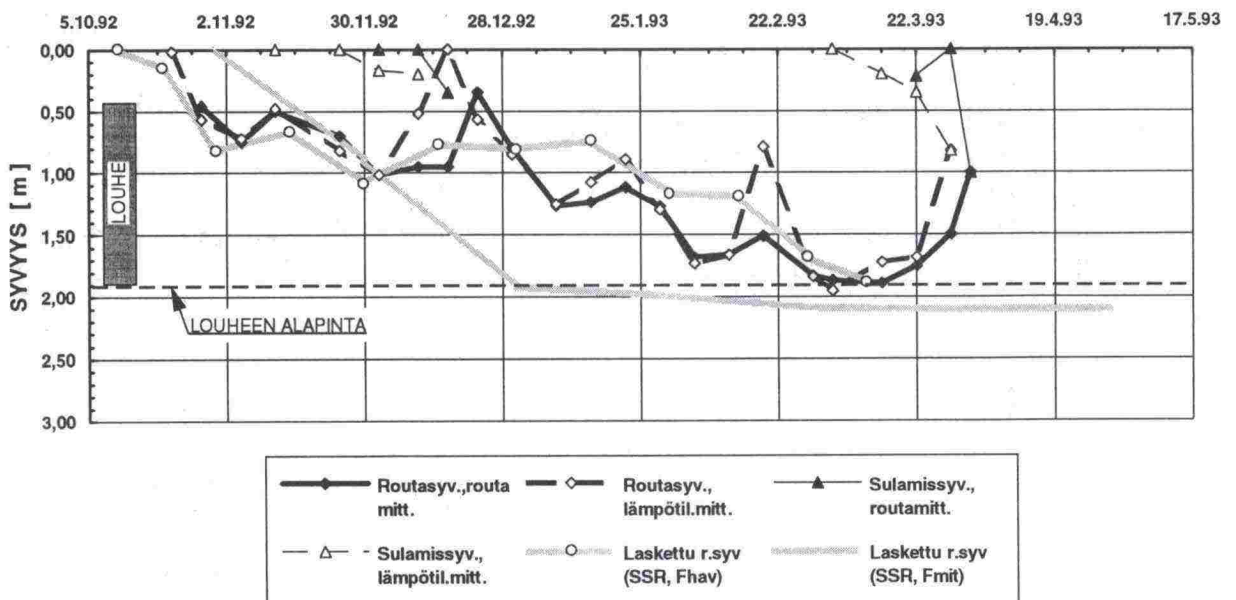


Kuva 12. a) PI 66200 ja b) PI 75120. Havaitut ja lasketut roudan syvyydet

c)

HAVAITUT ja LASKETUT ROUTASIVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA, PL 76820

d)

HAVAITUT ja LASKETUT ROUTASIVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA, PL 79500

Kuva 12. c) PI 76820 ja d) PI 79500. Havaitut ja lasketut roudan syvyydet

6.2 Louheen lämmönjohtavuuden arviointi

6.2.1 Roudansyvyyslaskentojen avulla

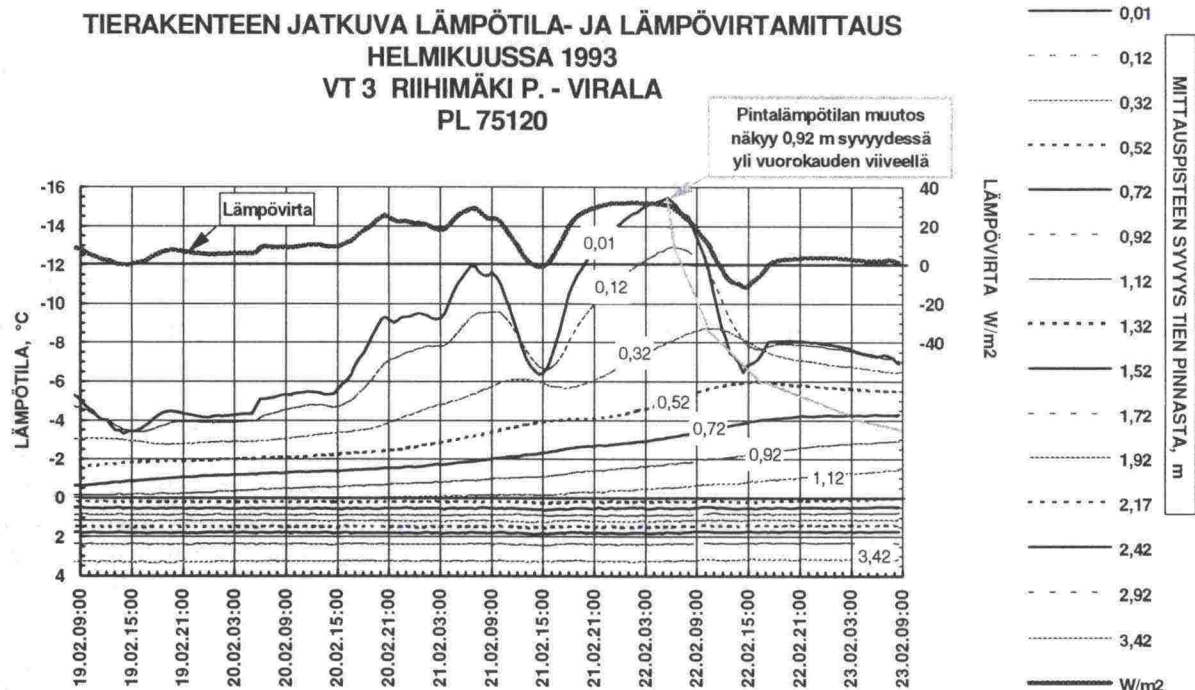
Louhekerroksen (paksuus 1100 mm + kiilaus 150 mm) lämmönjohtavuuden suuruutta arvioitiin vertaamalla mittaustuloksia ja eri lämmönjohtavuusarvoilla laskettuja roudan syvyyksiä keskenään. Laskennoissa käytettiin pääasiassa SSR-routaohjelmaa. Laskentaohjelman (laskentamallin) vaikutuksen selvittämiseksi laskentoja tehtiin myös kahdella muulla ohjelmalla. Louhetta lukuunottamatta tierakenteen materiaalien ja pohjamaan lämpötekniset ominaisuudet pidettiin vakioina (kts. myös kohta 6.1).

Louheen sulan ja jäätyneen tilan lämmönjohtavuuksia vaihtelemalla pyrittiin ensisijaisesti saamaan laskettu suurin roudan syvyys vastaamaan havaittua suurinta roudan syvyyttä. Toissijaisena tavoitteena oli saada myös alkutalven ja talven lämpimien sääjaksojen lasketut roudan syvyydet vastaamaan havaittuja roudan syvyyksiä. Molempia tavoitteita ei ollut mahdollista saavuttaa yhtäaikaaisesti. Parhaaseen tulokseen päästiin, kun louheen sulan tilan lämmönjohtavuutena käytettiin jonkin verran jäätyneen tilan lämmönjohtavuutta pienempää arvoa. Louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuudeksi saatiin näin $\lambda_{j\ddot{a}t} = 1,4 \text{ W/mK}$ ja sulan tilan lämmönjohtavuudeksi $\lambda_{sula} = 1,1 \text{ W/mK}$. Kuvissa 12a, 12b ja 12d on esitetty louherakenteista havaitut ja em. lämmönjohtavuusarvoilla lasketut roudan syvyydet.

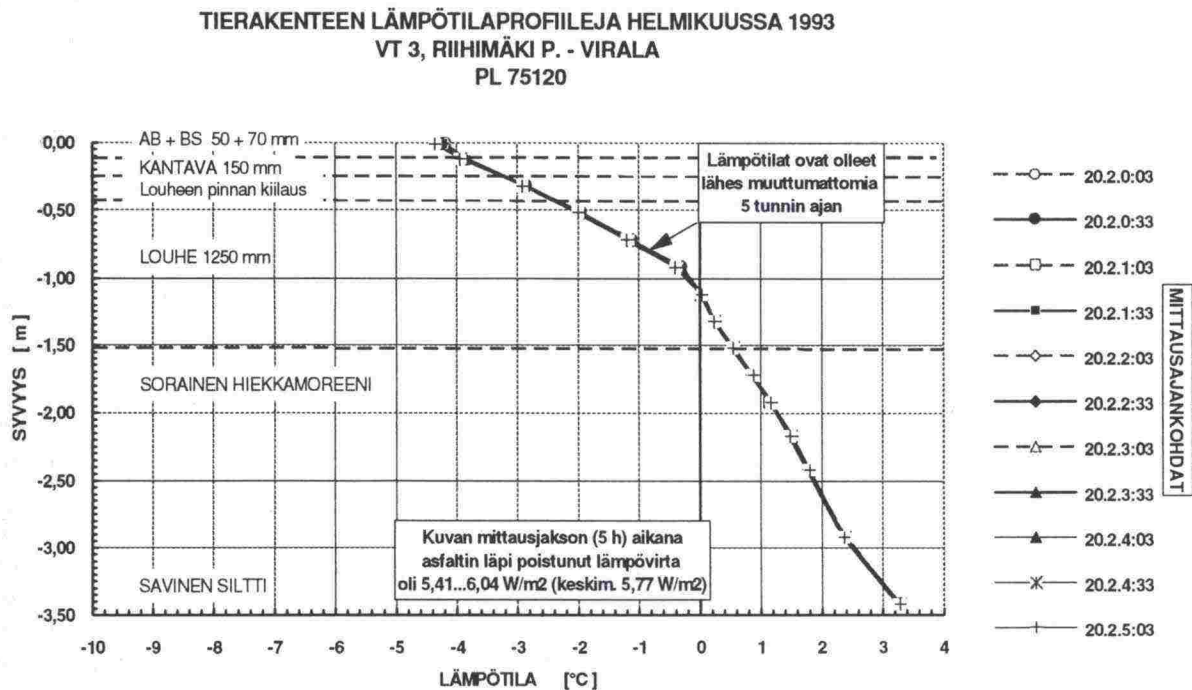
Joitakin vertailulaskelmia tehtiin myös kahta muuta routaohjelmaa käyttäen. Molemmat ohjelmat ottavat huomioon maakerrosten lämpökapasiteetin jäätymislämmön lisäksi. Näiden alustavien laskelmien mukaan pakkasmäärällä $F_{hav} = 8660 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$ em. ohjelmilla lasketut roudan syvyydet jäävät selvästi pienemmiksi, kuin havaitut roudan syvyydet tai SSR-routaohjelmalla lasketut syvyydet. Mitoituspakkasmäärällä ($F_{mit} = 30000 \text{ }^{\circ}\text{Ch}$) laskettaessa eri ohjelmat antavat hyvin samansuuntaisia tuloksia.

6.2.2 Lämpövirta- ja lämpötilamittauksiin perustuen

Louheen lämmönjohtavuutta arvioitiin myös tierakenteesta poistuvan lämpövirran (W/m^2) ja lämpötilamittaustulosten avulla. Asfalttikerroksen alaosaan (syvyys pinnasta 70...100 mm) sijoitetun lämpövirta-anturin lukema kuvaa myös alempien kerrosten läpi siirtyvää lämpövirtaa, jos tien pinnan lämpötila pysyy riittävän kauan vakana. Helmikuun lopun tilanteessa (jolloin jatkuva lämpövirtamittaus toteutettiin) riittävän pitkä vakaa jakso olisi ollut noin 2...3 vuorokautta (vrt. kuva 13) Tänä aikana olisi lämpövirtaus routarajan yläpuolella saavuttanut likimäärin stationäärisen tilan. Näin pitkiä vakaita lämpötilajaksoja ei jatkuvaan lämpötilamittausjaksoon (n. 2 viikkoa) kuitenkaan sattunut. Parhaiten stationääristä tilannetta vastaa kuvan 14 viiden tunnin pituinen mittausjakso (20.2 klo 0:03...5:03). Kuvan 14 tilannetta vastaava louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuus on $1,4 \text{ W/mK}$, kun jäätyneen kerroksen läpi siirtyväksi lämpövirraksi otaksutaan mittausten keskiarvo $5,77 \text{ W/m}^2$.



Kuva 13. Tierakenteen lämpötila eri syvyyksillä ja asfaltin läpi siirtynyt lämpövirta 19...23.2.93 välisenä aikana. Lämpövirta suuntautuu rakenteesta ylös, kun lämpövirta on positiivinen.



Kuva 14. Tierakenteen lämpötilaprofiilit 20.2.93 klo 0:03...5:03 välisenä aikana. Lämpötilat on mitattu puolen tunnin välein.

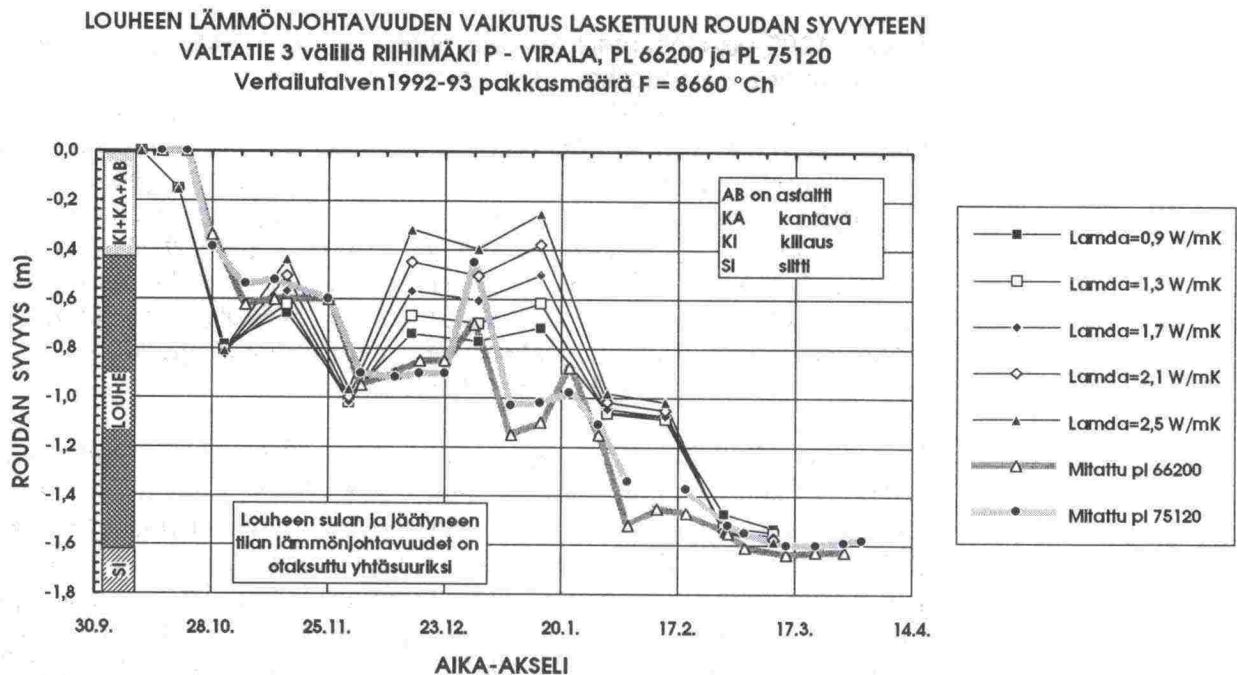
6.2.3 Louheen lämmönjohtavuusarvojen tarkastelu

Talven 1992-93 olosuhteissa routa tunkeutui vain vähän tai ei ollenkaan louhekerroksen alapuoliseen märkään pohjamaahan. Louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuudella on tällaisessa tapauksessa vain vähän vaikutusta laskennalliseen roudan syvyyteen. Suhteellisen kuivana materiaalina louheen jäätyislämpö on pieni. Laskelmissa louheen vesipitoisuudeksi otaksuttiin 3 %. Louhe vastustaa huonosti roudan tunkeutumista niin kauan, kun routaraja pysyy louheessa. Louheen (sen sisältämän ilman) eristysvaikus alkaa vaikuttaa vasta, kun routa tunkeutuu louheen alapuoliseen märkään pohjamaahan. Tästä johtuen vertailulaskentojen avulla määritetty louheen lämmönjohtavuuden arvio olisi luotettavampi, jos routa olisi läpäissyt selkeämmin louhekerroksen.

Vertaamalla havaittuja ja laskettuja roudan syvyyksiä saatiin louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuudeksi $\lambda_{jää} = 1,4 \text{ W/mK}$ ja sulan tilan lämmönjohtavuudeksi $\lambda_{sula} = 1,1 \text{ W/mK}$. Tarkasteltavana olleessa tilanteessa ($F = 8660 \text{ }^\circ\text{Ch}$, paalun 66200 louherakenne ja pohjamaa sekä SSR-routaohjelma) likimäärin samaan laskennalliseen maksimi roudan syvyyteen päästään kuitenkin useilla eri lämmönjohtavuuden arvoilla muuttamalla sekä sulan että jäätyneen tilan lämmönjohtavuuksia sopivassa suhteessa. Esimerkiksi louheen lämmönjohtavuuden arvopareilla $\lambda_{jää} = 1,1 \text{ W/mK}$ ja $\lambda_{sula} = 0,9 \text{ W/mK}$ ja toisaalta $\lambda_{jää} = 2,0 \text{ W/mK}$ ja $\lambda_{sula} = 1,5 \text{ W/mK}$ laskettu maksimi roudan syvyys/routanousu ovat samassa järjestyksessä 1550/3 mm ja 1590/7 mm. Mitoituspakkasmäärällä $F_{mit} = 30000 \text{ }^\circ\text{Ch}$ ja vastaavilla lämmönjohtavuuksilla saadaan roudan syvyys/-nousuarvot 1750/39 mm ja 1960/61 mm.

Kirjallisuustietojen mukaan kuivahkon karkearakeisten maamateriaalien jäätyneen tilan lämmönjohtavuus on pienempi, kuin sulan tilan lämmönjohtavuus, kun vesipitoisuus $w < 9,5 \text{ } \%$ ja kuivatiheys $\rho_d = 1,7 \text{ t/m}^3$ (Saetersdal 1976 ja Kerstenin menetelmä). Edellä kuvattujen vertailulaskentojen mukaan louheen jäätyneen tilan näennäinen lämmönjohtavuus on sulan tilan lämmönjohtavuutta suurempi (louheen vesipitoisuuden laskenta-arvo $w = 3\%$). Routalaskelmia tehtiin lisää siten, että louheen jäätyneen ja sulan tilan lämmönjohtavuudet otaksuttiin yhtä suuriksi. Kuvassa 15 esitetty näiden laskentojen tuloksia. Niiden mukaan laskettu roudan syvyys vastaa parhaiten havaittua, kun louheen lämmönjohtavuus (jäätyneen ja sulan tilan) on pieni (0,9 W/mK). Tällöin tosin laskettu suurin roudan syvyys jää pienemmäksi kuin havaittu arvo (erotus 100...150 mm). Leutona talvena lämmönjohtavuusarvojen kasvattaminen näyttäisi johtavan lähinnä alhaalta päin tapahtuvan sulamisen nopeutumiseen. Mitoituspakkasmäärällä ($F_{mit} = 30000 \text{ }^\circ\text{Ch}$) ja lämmönjohtavuuden ääriarvoilla (0,9 W/mK ja 2,5 W/mK) saadaan noin 1680 mm ja 2030 mm roudan syvyydet (erotus 350 mm) ja vastaavasti 30 mm ja 70 mm routanousut.

Kuvassa 15 on vertailun vuoksi esitetty myös mitatut roudan syvyydet paalulta 75120, jossa louheen alla oli moreenipenger. Paalulla 66200 pohjamaa oli silttiä.



Kuva 15. Louheen lämmönjohtavuuden vaikutus SSR-ohjelmalla laskettuun roudan syvyyteen. Kuvan lamda-arvot tarkoittavat louheen sulan ja jäätyneen tilan lämmönjohtavuuksia (otaksuttu yhtäsuuriksi).

Kuten edellä on kuvattu routalaskelmien perusteella näyttää siltä, että louheen jäätyneen tilan toimiva (näennäinen) lämmönjohtavuus olisi suurempi kuin sulan tilan toimiva lämmönjohtavuus. Tämä saattaa aiheutua kosteutta sisältävän ilman kiertämisestä louhekerroksessa. Routarajan alapuolella louheen huokosilma on todennäköisesti veden kyllästämää eli ilman suhteellinen kosteus on 100%. Louheen alaosan lämpimämpi huokosilma pyrkii luonnollisesti ylöspäin, jolloin sen sisältämä kosteus tiivistyy vedeksi ja jäätyy lohcareiden pinnalle. Voidaan otaksua, että ainakin osa ilman sisältämästä vesimäärästä on alijäähtynyttä, jolloin se luovuttaa höyrystymis- ja jäätymlämpönsä ehkä huomattavastikin routarajan yläpuolella. Näin huokosilman mukana siirtyvä jäätymlämpö suurentaa louheen jäätyneen tilan näennäistä lämmönjohtavuutta verrattuna sulan tilan lämmönjohtavuuteen. Tämän tutkimuksen havaintojen ja vertailulaskentojen perusteella edellä kuvattu teoria vaikuttaa oikealta. Esimerkiksi kuvan 9a mukaan louheen vesipitoisuus (w) ja kyllästysaste (SR) ovat kasvaneet 18.12.92 - 16.3.93 välisenä aikana. Sama piirre on nähtävissä myös kuvassa 9b, vaikka siinä ylimpien mittausten tilavuuspainovaihtelut (muutoksia mittauspätkien ympäristäytön tiiviydessä?) vaikeuttavat tulkin-taa. Ilmavirtausten ja jäätymlämmön vaikutusten selvittämiseksi tarvitaan kuitenkin lisätutkimuksia.

Ilman kosteuden välityksellä siirtyvän jäätymlämmön vaikutus louheen näennäiseen lämmönjohtavuuteen riippuu ko. kerroksessa vaikuttavasta lämpötilagradientista. Vaikutus on suurin, kun lämpötilagradientti on pieni, eli sillä näyttää olevan eniten merkitystä lauhana talvena, jolloin tien pinta-

lämpötila vaihtelee lähellä nollaa. Lämpötilagradientista ja ilman mukana siirtyvästä jäätyislämmöstä riippuen louheen jäätyneen tilan näennäinen lämmönjohtavuus saattaa suurentua likimäärin noin 0,05...0,2 W/mK.

6.3 Routiminen

Tierakenteen routimista seurattiin vaaituksin. Vaaitusten tuloksia on esitetty kohdassa 5.3.5. Vaaitusten mukaan merkittävää routimista tapahtui vain yhdellä havaintovälillä (plv 76720...76920). Suurin routanousu oli 20...30 mm (plv 76880...76920). Myös paalun 79500 kohteessa oli havaittavissa vähäistä routanousua (alle 20 mm). Muissa seurantakohteissa merkittävää routanousua ei tapahtunut, sillä suurimmat routanousuarvot olivat suuruusluokkaa 10 mm (vrt. kuvat 10a, 10b, 11a ja 11b sekä taulukko 17).

Em. paaluvälin 76880...76920 routanousu tapahtui tieosalla, jolla on päällysrakenteena on maabetoni/sorarakenne. Routiminen on merkittävää sikäli, että havaintojen mukaan routaraja pysyi koko talven tierakenteessa. Routa ei tunkeutunut routivaan pohjamaahan asti. Routiminen aiheutuu joko siitä, että pengertäyte on routivaa materiaalia tai se on ollut veden kylästämmä ennen jäätymistään. Todennäköisesti routimiseen ovat vaikuttaneet molemmat em. syyt, sillä koekuopasta otettu pengersoranäyte on rakeisuuden perusteella arvioituna routivaa. Lisäksi koekuoppaan tuli tierakenteesta runsaasti vettä. Tämä viittaa siihen, että mm. keskikaistan kohdalta rakenteeseen päässyt vesi ei pääse poistumaan tierakenteesta riittävän hyvin.

Paalun 76820 roudansyvyys-/routanousulaskelma uusittiin otaksuen sora-täyte täysin veden kyllästämäksi. Laskelmien mukaan veden kyllästävä sora paisuu jäätyessään niin, että jo pelkästään tästä aiheutuu noin 17 mm routanousu talven 1992-93 pakkasmäärällä.

Paalun 79500 kohteessa routa ei mittausten mukaan saavuttanut routivaa pohjamaata. Laadunvalvontatulosten mukaan pohjamaan pinta on ollut oikeassa korkeudessa ennen louhepenkereen rakentamista (vrt. taulukko 14, kohta 5.3.1). Kairaajan havaintojen mukaan päällysrakenne olisi kuitenkin noin 100 mm suunniteltua ohuempi. Tämän mukaan on mahdollista, että pohjamaakin on routaantunut ja routinut.

Suunnitteluvaiheessa valittiin sallituksi routanousuksi 30...50 mm. Talven 1992 -93 havaintojen mukaan raja-arvo ei ylittynyt. Maastomittausten ja tutkimusten mukaan määritettyjä materiaaliominaisuuksia käyttäen voidaan arvioida roudan tunkeutumista mitoitustalvena. Paalun 76820 maabetoni/sorarakennekohteessa routa tunkeutuu lähes 600 mm pohjamaahan. Vastaava routanousuarvio on 73 mm. Muissa kohteissa routanousu pysyy sallituissa rajoissa. Arvio on tehty tämän tutkimuksen yhteydessä määritettyjä materiaaliominaisuuksia käyttäen.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

7.1 Routatutkimukset suunnittelutehtävässä

Routatutkimusten avulla pyritään varmistamaan, että tien laadulle asetettavat tasaisuus- ym. vaatimukset saavutetaan. Tutkimuksilla hankitaan riittävät tiedot sekä rakennemateriaaleista että pohjamaasta. Kuitenkin mm. tämän tiehankkeen (vt 3 väli Riihimäki P - Virala) yhteydessä havaittiin, että nykyisen tutkimuskäytännön mukaisilla tavanomaisilla pohjatutkimuksilla ei riittäviä tietoja aina saada. Etenkin syvien tieleikkauksien ja maa-aineksen ottopaikkojen tutkimuksia tulisi tehostaa, jotta välttyttäisiin työnaikaisilta yllätyksiltä. Toinen vaihtoehto voisi olla työnaikaisen suunnittelun ja pohjatutkimusten määrän lisääminen. Rakennusvaiheessa olisi tutkittava ja selvitettävä pohjamaan ominaisuuksien pienimuotoista vaihtelua ja pohjavesiolosuhteita nykyistä tarkemmin. Näin voidaan tarkentaa mm. siirtymä- ja kuivatusrakenteiden lopullista sijoittelua.

Suunnittelukohteessa tehdään aluksi maaperäkartoitus, jossa erotellaan pintamaan routivuuden perusteella erilaisiksi arvioidut alueet (vrt. liite 7). Pintamaan routivuutta arvioidaan maastokartoituksen yhteydessä mm. maapohjan maalajitteiden sekä niiden vaihtelevuuden ja kerrosjärjestyksen perusteella. Tutkija otta maastossa pintamaanäytteitä, analysoi ne silmämääräisesti sekä siirtää tiedot karttapohjalle. Samassa yhteydessä tarkastellaan myös maaperän kosteustekijöitä ja pohjavesisuhteita. Kartoitusta täydennetään karttatarkastelulla, jonka avulla määritetään hydrogeologiset virtaussuhteet ja valuma-alueet. Routivuuden aluejakoa tehtäessä otetaan huomioon myös maanpinnan ja tien tasausviivan keskinäinen suhde. Syvät leikkaukset ja korkeat penkereet ovat alueita, joilla pintamaan ominaisuudet eivät määrää tien alusrakenteen routivuutta.

Routivuuden arviointia varten otetaan pintamaanäytteitä, joista määritetään rakeisuus ja vesipitoisuus. Näytteitä otetaan tiheämmin routivuusominaisuuksien muutosalueilta. Syvien leikkauksien kohdilta ei yleensä saada riittävän edustavia näytteitä routivuuden täsmällistä arviointia varten, sillä maa-aines hienontuu näytteenoton yhteydessä. Routivuutta leikkauksen alapinnan tasossa voidaan kuitenkin likimäärin arvioida syvänäytteiden, kairausten ja geologisen tulkinnan avulla. Kallion pinnan, pohjaveden pinnan ja maakerrosrajojen sijainnin likimääräiseen arviointiin voidaan käyttää geofysikaalisia mittauksia (maatutka, seisminen luotaus, maavastusluotaus ym.). Niiden avulla voidaan suhteellisen edullisesti muodostaa yleispiirteinen käsitys laajojen alueiden maakerrosrajoista, maalajeista jne. Lisäksi mm. maatutkamittausten avulla voidaan ohjata muiden maaperätutkimusten (kairaukset, näytteenotto) sijoittelua tarpeellisiin kohtiin, jolloin niiden määrää ei tarvitse lisätä routamitoituksen takia nykyiseen verrattuna.

Mikäli maalajin ja olosuhteiden perusteella alustavasti arvioitu routanousu muodostuu tierakenteiden kannalta merkittäväksi, voidaan aluekohtaiset routanousuominaisuudet määrittää tarkemmin routanousukokeilla laboratoriossa. Jos hankkeen suunnitteluaiakataulu antaa myöten, on suositelta-

vaa mitata roudansyvyyttä ja routanousua suunniteltavaan tielinjaan liittyvillä, olemassaolevilla tiealueilla. Näiden routahavaintojen ja mittauskohteen rakennetietojen perusteella voidaan taaksepäin laskien arvioida pohjamaan routimisominaisuuksia esimerkiksi suhteellista routanousua. Määritetyt ominaisuudet tulisi voida yleistää koskemaan paikallisen routivuusluokituksen mukaista aluejakoa.

Kaikissa routatutkimuksissa on noudatettava erityistä huolellisuutta, sillä kenttämittauksia ei yleensä ole mahdollista uusia seuraavana talvena, jos esimerkiksi routavaaitusten kiintopiste sattuisi liikkumaan. Kiintopisteen tulee olla kalliossa tai routarajan alapuolelle perustetussa rakenteessa (silta) tai muussa täysin routimattomassa tai painumattomassa paikassa.

7.2 Ilmastokuormituksen määrittäminen

Routaantumista ja routimista säätelee paikallinen ilmastokuormitus, jota voidaan kuvata esimerkiksi mitoitustalven pakkasmäärällä (esimerkiksi keran kymmenessä vuodessa toistuvan kylmän talven pakkasmäärä F_{10}) ja seudun vuotuisella keskilämpötilalla. Pakkasmäärän toistuvuudesta Suomessa on esitetty tilastoja muissa routasuojausohjeissa sekä tierakenteen suunnitteluohjeissa.

Viimeisimmän tilastojakson 1961 - 93 lämpötiloista lasketut pakkasmäärät (Kivikoski 1993) poikkeavat enimmillään noin 5000 °Ch (F_{10}) aikaisemman tilastojakson 1931 - 60 pakkasmäärästä. Pakkasmäärän muutos on suurin Pohjois-Suomessa. Tämä kylmempään suuntaan tapahtunut pakkasmäärän muutos johtuu osittain aikaisempaa tarkemmasta laskentatavasta pakkaskauden alussa ja lopussa sekä osittain vuorokausikeskilämpötilojen alenemisesta verrattuna tilastojaksoon 1931 - 60.

Ilman keskilämpötila kuvaa myös kesän aikana maahan varastoituvan lämmön määrää, joka vaikuttaa sekä routaantumiseen että routimiseen. Routamitoituksen laskentamenetelmästä riippuen myös tienpinnan ja ilman lämpötilan välinen riippuvuus (N-kerroin) tulee tuntee. Mm. sulamisvaiheen tarkasteluissa ja kesäkauden käsittävissä laskelmissa tarvitaan tietoa em. lämpötilojen suhteesta. Suomessa on toistaiseksi tehty vain yksittäisiä N-kerroinmäärittäksiä, joten sen alueellista vaihtelua ei tunneta tarkasti.

7.3 Rakennemateriaalien lämpöteknisten ominaisuuksien arviointi

Maa-ainesten (pohjamaan ja tien rakennemateriaalien) sulan ja jäätyneen tilan lämmönjohtavuudet määritetään normaalisti kuivatiheyden, vesipitoisuuden ja maalajin perusteella. Lämmönjohtavuuskäyrästä on esitetty kirjallisuudessa erikseen karkearakeisille, hienorakeisille ja eloperäisille maalajeille (Kersten 1949, esim. lähteessä Andersland & Anderson 1978). Maa-aineksen jäätymisvastus ja lämpökapasiteetti ovat myös verrannollisia kuivatiheyteen ja vesipitoisuuteen.

Louheen lohcareiden väliin jää runsaasti ilmatilaa, jossa lämpö ja kosteus siirtyvät myös ilmavirtauksien mukana (konvektio, tuulettuminen). Toisaalta

lohkareiden väliset kosketuspinnat ovat suhteellisen harvalukuisia. Tästä johtuen louheen lämpötekkinen toiminta poikkeaa merkittävästi pienempi rakeisista ja tiiviimmistä maamateriaaleista. Kirjallisuudessa ilmoitetaan louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuudeksi $0,6...1,3 \text{ W/mK}$ ja sulan tilan lämmönjohtavuudeksi $0,7...1,5 \text{ W/mK}$ (Frost i jord 1976). Kerstenin menetelmällä saadaan louheen jäätyneen tilan lämmönjohtavuudeksi $0,75 \text{ W/mK}$ ja sulan tilan lämmönjohtavuudeksi $1,2 \text{ W/mK}$ otaksumalla louhe karkearakeiseksi maalajiksi ja käyttämällä tämän tutkimuksen yhteydessä määritettyjä kuivatiheyden ja vesipitoisuuden arvoja.

Tässä tutkimuksessa määritettiin $1100...1500 \text{ mm}$ paksujen maamassoilla verhoiltujen louhepenkereiden lämmönjohtavuuksia. Tutkimustulosten perusteella arvioituna louheen jäätyneen tilan toimiva (näennäinen) lämmönjohtavuus oli noin $1,4...1,5 \text{ W/mK}$ ja sulan tilan toimiva lämmönjohtavuus noin $1,1...1,2 \text{ W/mK}$. Louheen jäätyneen ja sulan tilan lämmönjohtavuuksien mitoitusarvojen määrittäminen edellyttää kuitenkin lisäselvityksiä ja mittauksia erilaisissa lämpötila ja ympäristöolosuhteissa (vrt. kohta 6.2.3).

Vaikka tässä tutkimuskohteessa ei käytetty routaeristeitä esitetään seuraavassa joitakin näkemyksiä. Routaeristemateriaalien lämmönjohtavuuksia ilmoitetaan hyvin eri tavoin. Routaeristerakenteita mitoitettaessa lämmönjohtavuutena tulee käyttää nimenomaan maa-asennuksessa käytettäviksi tarkoitettuja lämmönjohtavuuden mitoitusarvoja. Nämä mitoitusarvot riippuvat asennusolosuhteista, jolloin on huolehdittava siitä, että todelliset olosuhteet (kuivatus) vastaavat suunniteltua eristeen mitoitusajan.

7.4 Routasuojauksen suunnittelu ja mitoitus

Routasuojaus voidaan toteuttaa routamitoituksen perusteella käyttäen routimattomia tai lievästi routivia päällys- ja alusrakennekerroksia. Normaalisti mitoituksella pyritään rajoittamaan routivan alusrakenteen routaantumista ja siitä aiheutuvaa routimista. Tällöin sora- ja hiekkarakenteissa tehtävä sisältää vain routaantumissyvyyden mitoituksen ja vastaavan routanousun arvioinnin. Jos käytetään louhetta, niin lämmönjohtavuuden täsmällinen arviointi vaikeutuu mahdollisen tuuletusvaikutuksen vuoksi. Louherakenteessa tuuletus lisää lämmönjohtavuutta pelkkään johtumiseen verrattuna. Toisaalta louheen jäätymisvastus ja ominaislämpö ovat pienempiä, kuin tiiviimmän ja runsaammin vettä sisältävän luonnonmateriaalin. Mm. näistä syistä johtuen louherakenteen on oltava paksumpi kuin vastaavan luonnonmateriaalirakenteen. Louheen alle suositellaan rakennettavaksi noin 300 mm paksu suodatinkerros tai vastaava routimaton (tai lievästi routiva) kerros. Tähän tarkoitukseen saattaa soveltua myös esimerkiksi vastaavan paksuinen turvekerros.

Routasuojaus olisi luonnollisesti voitu toteuttaa myös routaeristeitä (solumuoveja ym.) käyttäen, mikä olisi johtanut huomattavasti ohuempiin rakenteisiin. Tien routaeristeinä voidaan käyttää useita eri materiaaleja. Routaeristeen suunnittelu ei tarkoita pelkästään eristeen paksuuden määrittämistä, vaan routaeristettyä tierakennetta on käsiteltävä kokonaisuutena. Tällöin tulee ottaa huomioon mm. kantavuus-, liukkaus-, kuivatus- ja suodatinnäkökohdat.

Routanousun mukaan mitoitettaessa siirtymärakenteet on toteutettava siten, että arvioidut routanousuepätasaisuudet jäävät hyväksyttävälle tasolle. Seurantakohteisiin ei sisältynyt siirtymäkiilaosuuksia. Paalun 79500 paksu louherakennekin (1920 mm) on tielaitoksen ohjeiden mukaista siirtymäkiilasyvyyttä pienempi. Louhetäynteisen siirtymäkiilan ohjesyvyys on 2200 mm (1,3 x 1700 mm), kyseisen tieosan olosuhteissa.

7.5 Routamitoituksen soveltaminen tierakenteen suunnittelussa

Maastossa suoritettavat routamittaukset ja ennen kaikkea routanousukokeet laboratoriossa sekä näiden perusteella tehtävä sallittuun routanousuun perustuva päällysrakenteen routamitoitus on merkittävä tarkennus ja varmistus tielaitoksen suunnitteluohjeiden mukaiseen, tavanomaiseen routamitoitukseen. Routamitoituksen perustana on edelleen nykyisen mitoitusmenettelyn mukainen jako routivuusolosuhteisiin (helpot, keskivaikeat, vaikeat). Rakenteen kokonaispaksuuden valinta eri routivuusolosuhteissa helpottuu merkittävästi, kun apuna voidaan käyttää mittaustuloksia pohjaamaan routivuudesta.

Uusi mitoitusmenettely täydentää perinteistä mitoitusmenettelyä pitkillä ja pohjasuhteiltaan homogeenisilla alueilla. Sen sijaan rajakohdissa, joissa routanousuista aiheutuu eniten haittaa, ei routanousukokeilla voida saavuttaa merkittävää etua verrattuna perinteiseen mitoitukseen.

Suunnitteluhankkeen tulee täyttää tietyt kriteerit, ennen kuin päällysrakenteen routamitoituksessa kannattaa käyttää apuna routanousukokeita, joista aiheutuu lisäkustannuksia verrattuna perinteiseen mitoitusmenettelyyn (routanousukokeen kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa kuin esimerkiksi ödometrikokeen). Suunnittelijan routamitoitukseen käyttämä työaika pitenee ja laboratoriokokeet sekä mahdolliset maastomittaukset aiheuttavat lisäkustannuksia. On muistettava, että uudella mitoitusmenettelyllä pyritään joko parempaan laatutasoon tai rakentamiskustannussäästöön. Etukäteen ei voida tietää, johtaako ao. mitoitus ohuempaan vai paksumpaan päällysrakenteeseen kuin perinteinen mitoitus. Paksummalla rakenteella parannetaan laatutasa ja ohuemmalla rakenteella saavutetaan säästöä rakennuskustannuksissa. Toisaalta routanousuun perustuva mitoitusmenettely mahdollistaa myös kustannuksiltaan edullisten, lievästi routivien paikallisten materiaalien käytön rakennekerrosten alaosassa. Hankkeissa on erikseen harkittava, vastaavatko mahdollisesti saavutettavat hyödyt lisäkustannuksia.

Hankkeeseen tulee sisältyä verrattain pitkiä, yhtenäisiä ja pohjasuhteiltaan homogeenisiä alueita, ennen kuin routanousukokeita kannattaa harkita perinteisen routamitoituksen tueksi. Uusi mitoitusmenettely ei välttämättä ole mielekäs pienissä hankkeissa. Parempaan laatutasoon pyrittäessä on suunniteltavan tien oltava riittävän korkeatasoinen, jotta uuden mitoitusmenettelyn vaatimat lisäkustannukset kannattaa uhrata laatutason varmistamiseksi. Kustannuksia arvioitaessa ja vertailtaessa on kuitenkin otettava huomioon kaikki tien mitoitusiän aikana kertyvät kustannukset.

Uusi mitoitusmenettely nostaa suunnittelukustannuksia verrattuna perinteiseen mitoitukseen. Tästä syystä uuden mitoitusmenettelyn käytöstä tulisi

konsulttitoimeksiannoissa sopia jo suunnittelusopimusta laadittaessa, jotta tarvittavan rahoituksen löytyminen ei aiheuttaisi vaikeuksia myöhemmin.

Tiensuunnitteluhankkeet ovat luonteeltaan hyvin erilaisia. Hankkeissa on usein monia muusta maankäytöstä johtuvia pakkopisteitä niin tien linjauksen kuin tasauksenkin suhteen, jotka määräävät tien sijainnin ja korkeusaseman melko pitkälle. Suunnittelujaksolla Riihimäki P - Virala oli vähän pakkopisteitä, jolloin suunnittelijoilla on ollut suurempi vapaus valita tien linjaus ja tasaus. Tien linjauksen ja tasauksen valinta on asteettain tarkentuva prosessi, johon hyvin monet asiat vaikuttavat. Päälysrakenteen routamitoitus on vain yksi osatekijä tässä prosessissa.

Alustavissa tasaus- ja massataloustarkasteluissa ei voida tehdä kovin yksityiskohtaista päälysrakenteen routamitoitusta lähtötietojen vähyyden vuoksi. Perinteisellä routamitoituksella saadaan vertailuun riittävän tarkasti mitoitettu rakenne. Routanousuun perustuva mitoitus soveltuu parhaiten vasta lopullisen routamitoituksen tarkentamiseen. Tästä syystä tien linjauksen ja tasauksen tulee olla varsin pitkälle sovittuja ennen kuin tehtävien routanousukokeiden maanäytteiden paikka voidaan määrätä ja näytteet ottaa. Laboratoriokokeet ajoittuvat täten tiesuunnitelman valmistumisen ajankohtaan tai rakennussuunnitelman laadinnan alkuun. Maaperäkartoitus soveltuu tehtäväksi jo yleissuunnitelmavaiheessa.

Hankkeen suunnitteluajan on oltava riittävän pitkä. Näin varsinkin silloin, jos laboratoriokokeiden tueksi halutaan tehdä routamittauksia maastossa. Tutkimusohjelma on ehdittävä laatia ja mittaukset valmistella ennen pakaskautta ja tuloksia on ehdittävä hyödyntää ennen kuin päälysrakenteen paksuudesta on tehtävä päätös.

7.6 Suunnittelutehtävät routanousuun perustuvassa mitoituksessa

Tierakenteen routanousuun perustuva routamitoitus ja siihen liittyvien tehtävien etenemisjärjestys voi olla esimerkiksi seuraava.

Yleissuunnittelu/tarveselvitys

- ilmakuva- ja karttatulkinta sekä geologinen tulkinta
- yleispiirteinen maaperäkartoitus ja routivuusluokitus
- tarkennettu maaperäkartoitus ja routivuusluokitus valitussa (valituissa) maastokäytävässä.
- pohjaveden pinnan pitkaikaisten havaintojen (vuodenaikaisvaihtelu) aloitus valituissa kohteissa.

Tiesuunnitelma

- pohjatutkimukset (kairaukset ja näytteet)
- pintamaanäytteiden otto ja niiden laboratoriomääritykset
- maaperäkartan aluejaon ja routivuusluokituksen edelleen tarkennus
- routanousumittaukset
- pohjavedenpinnan tarkkailun jatkaminen ja tarkkailupisteverkon täydentäminen.

Rakennussuunnitelma

- pohjatutkimukset (kairaukset ja näytteet)
- pintamaanäytteiden otto ja niiden laboratoriomääritykset
- routanousukokeet
- maaperäkartan aluejaon ja routivuusluokituksen edelleen tarkennus

Työn suunnittelu ja rakentaminen

- työnaikaisten maaperä- ja pohjavesihavaintojen tulkinta
- pintanäytteiden otto ja niiden silmämääräiset/ laboratoriotutkimukset (mm. tieleikkauspohjista ja siirtymärakenteiden kohdilta)
- routivuusluokituksen lopullinen rajausta mm. leikkauspohjan ja pengermateriaalitutkimusten tutkimusten perusteella
- muutossuunnitelmat

8. ROUTAMITOITUKSEN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUKSIA

Tavoitteena tulisi olla tien rakenteen ja rakennusmateriaalien soveltaminen paikallisiin ilmasto- ja pohjasuhteisiin ottaen huomioon paikallisten maa-ainesten tarkoituksenmukainen käyttö niin, että tuote täyttää sille asetetut laatutavoitteet. Tavoitteen saavuttamista voidaan edesauttaa mm. seuraavilla tavoilla.

a) Nykyinen routivuusluokitus (tielaitoksen käyttämä) ei suoraan kuvaa pohjamaan routanousun voimakkuutta. Ilmeistä kuitenkin on, että routanousun voimakkuus riippuu rakenteen vaikutusten ohella mm. maan kosteusolosuhteista. Routanousun voimakkuutta kuvaava maalajiluokitus olisi ilmeisesti tarkistettava. Näyttää siltä, että tierakenteen routanousun arviointi ei ole tarkoituksenmukaista ilman suhteellisen yksityiskohtaisia paikallisia kokeellisia tietoja.

b) Routamitoituksen laskentamenetelmästä riippuen myös tienpinnan ja ilman lämpötilan välinen riippuvuus (N-kerroin) tulee tuntea. N-kerroin vaihtelee samallakin tieosalla mm. tiegeometriasta, ilmansuunnista (suhteessa tiehen) ja maastonmuodoista riippuen. Suomessa on toistaiseksi tehty vain yksittäisiä N-kerroinmäärittäksiä, joten sen alueellista vaihtelua ei tunneta riittävän tarkasti.

c) Kenttähavaintojen ja laskentatulosten mukaan tien rakennemateriaalien lämmönjohtavuudella ja muilla lämpöteknisillä ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus roudan syvyyteen. Maa-ainesten lämmönjohtavuudet määritetään normaalisti kuivatiheyden, vesipitoisuuden ja maalajin perusteella. Eri tutkijat ovat laatineet toisistaan jonkin verran poikkeavia menetelmiä esimerkiksi maamateriaalien lämmönjohtavuuden määrittämiseksi. Edelliseen perustuen tulisi:

- selvittää maamateriaalien ja myös louheen lämpötekni-
sien (arvioiden) käytännön vaihteluvälit tierakenteessa ja
niiden vaikutukset routamitoituksen tarkkuuteen.
- vertailla käytettävissä olevien laskentamenetelmien antamien
roudan syvyys- ja routanousuarvojen vaihtelua ja herkkyyttä las-
kentamenetelmästä ja lähtöarvoista riippuen.
- määritellä laskennallisesti ja kokeellisesti ne olosuhteet (lähinnä
kosteustila, huokoisuus) joihin routamitoitusta ajatellen tulisi
pyrkä tierakenteita suunniteltaessa.

d) Tarvitaan myös koerakenteita tavanomaisesta poikkeavien materiaalien (lievästi routivat maamateriaalit, sivutuotteet) ja niitä soveltavien rakenteiden testaamiseksi sekä kokemusten kartuttamiseksi routanousun arviointiin perustuvasta tierakenteen routamitoituksesta.

e) Tulisi kehittää ja ottaa käyttöön laboratorio-, pohjatutkimus- ja mitoit-
tusmenetelmiä routanousun arviointiin perustuvaa routamitoitusta varten.
Erityisesti tarvittaneen työnaikaisen tutkimus- ja suunnittelukäytännön oh-
jaamiseen soveltuva asiantuntijajärjestelmä edesauttamaan nopeiden rat-
kaisujen tekoa.

9. KIRJALLISUUSLUETTELO

Andersland, O., Anderson, D. 1978. Geotechnical Engineering for Gold Regions. New York, Mc Graw-Hill. 566 s.

Friberg, P., Slunga, E. 1989. Maalajien routivuuskriteerien kehittäminen. Otaniemi. Teknillinen korkeakoulu, rakennetekniikan laitos, pohjarakennus ja maamekaniikka. 130 s.

Gandahl, R. 1987. Tjäle och tjälskydd. Erfarenheter från FoU-verksamheten vid SVI och VTI. Linköping, Väg- och Trafikinstitut, VTI meddelande 546. 135 s.

Ilmatieteen laitoksen pikatilastot ja kuukausikatsaukset 1992 - 93.

ISSMFE, Technical Committee on Frost, TC-8, 1989. Work Report 1985 - 1989. Frost in geotechnical engineering, Int. Symposium. Saariselkä, Finland, 13 - 15 March 1989. Espoo 1989, VTT Symposium 94. Vol I. S. 15 - 70.

Johansen, Ø., Frivik, P-E., Pedersen, K.B., Bjerkan, O. 1976. Varmetekniske egenskaper av jord og bygningsmaterialer. Oslo. Norges teknisk- naturvitenskapelige forskningsråd og Statens vegvesens utvalg for Frost i jord, Nr. 17. S. 71 - 121.

Kivikoski, H. 1993. Ilmastotilastot 1961 - 90. Pakkasmäärät. Lämpöaste-summat. Lumen syvyudet. Julkaisematon. VTT Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. 12 s.

Knutsson, S., Domaschuk, L., Chandler, N. 1985. Analysis of large scale laboratory and in situ frost heave tests. Proc. of 4th int. Symp. on Ground Freezing. Sapporo, 5 - 7 August 1985. Rotterdam/Boston, A. A. Balkema. S. 65 - 70.

Konrad, J-M. 1980. Frost-heave mechanics. Edmonton, Alberta. University of Alberta. Ph.D. thesis. 472 s.

Konrad, J-M., Morgenstern, N.R. 1982. Effects of applied pressure on freezing soils. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 19, s. 494 - 505.

Mäkelä, H., Tamminne, M. 1979. Rakennusten perustusten routasuojaus. Espoo 1979. VTT, Geotekniikan laboratorio, Tiedonanto 37, lisäpainos 1981. 53 s.

Saarelainen, S. 1984. Frost heave and frost penetration at some observation sites in Finland. Nordiskt Geoteknikermöte 1984. Linköping, 1. - 3. juni 1984. Linköping, Statens Geotekniska Institut. Vol. 2, s 373 - 380.

Saarelainen, S. 1992. Modelling frost heaving and frost penetration in soils at some observation sites in Finland. The SSR model. Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications 95. 119 s.

Saetersdal, R. 1976. Jordarters telefarlighet. Oslo. Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens vegvesens utvalg for Frost i jord, Nr. 17. S. 123 - 152.

Saetersdal, R. 1980. Heaving conditions by freezing of soils. Proc. of Int. Symp. on Ground Freezing. Trondheim, 24 - 26 June 1980. Trondheim, University of Trondheim & Norwegian Institute of Technology. S. 824 - 836.

TIEL 732816. 1990. Laadunvalvontaohjeet. Alusrakenne ja päällysrakenteen sitomattomat kerrokset. Tielaitos. 124 s.

TIEL 2140002. 1991. Teiden suunnittelu IV. Tien rakenne. Rakenteen parantaminen. Luonnos koekäyttöön. Tielaitos. 31 s.

Tielaitoksen selvityksiä NN/1993 . Tiegeotekniikan yleiset suunnitteluperusteet. Luonnos 1993. 22 s.

LIITTEET

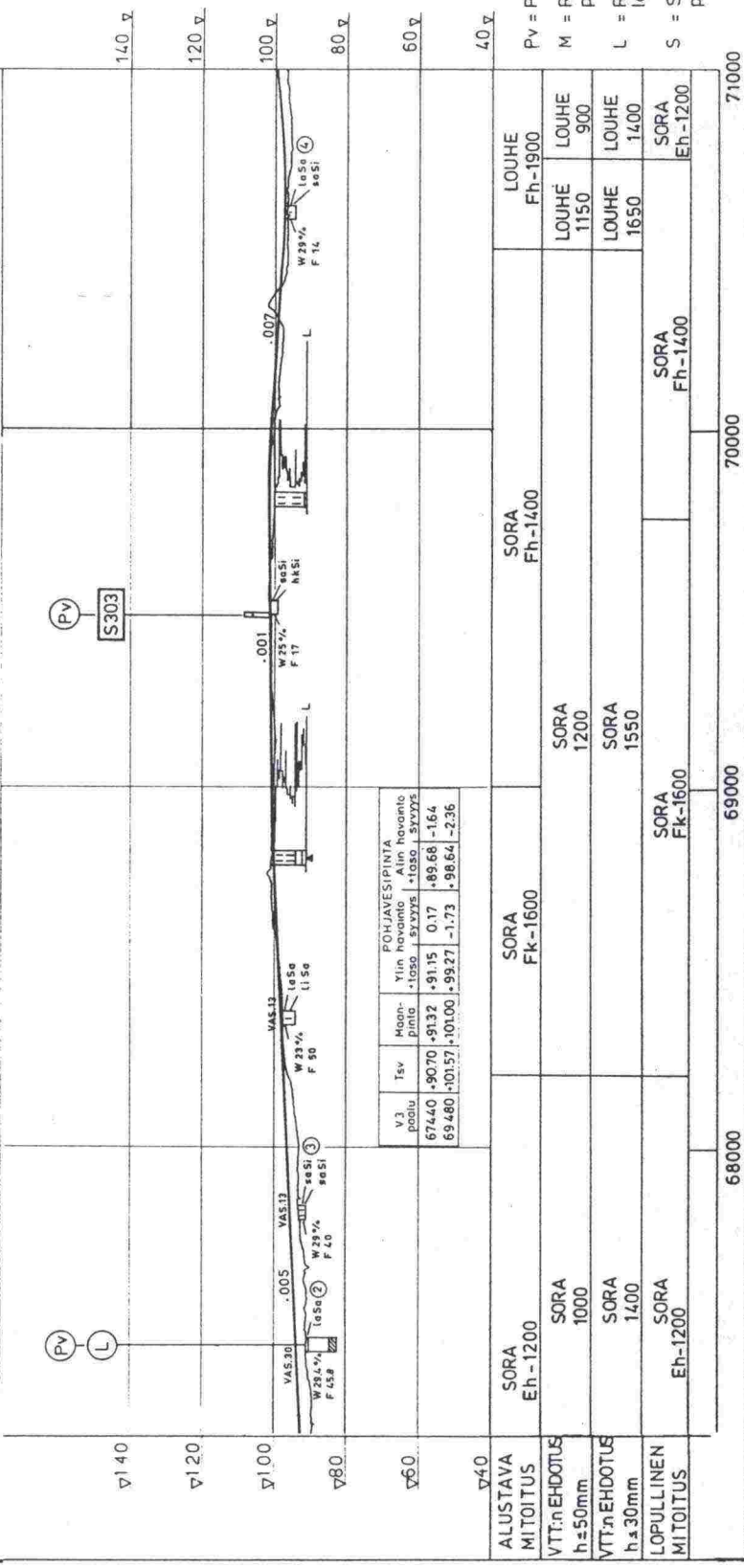
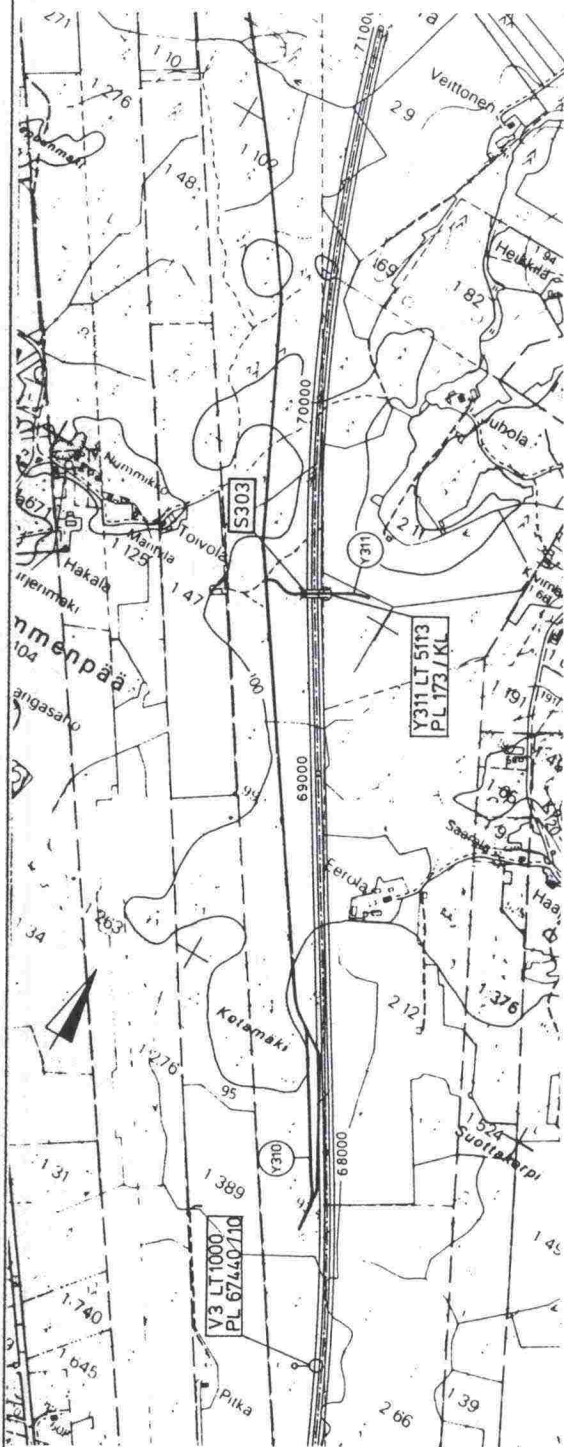
Liitenro Liitteen sisältö

- 1 - 6 Valtatien 3 suunnitelmakartta ja pituusleikkaus (pienennös). Sisältää mm. tierakenteet sekä maaperä- ja pohjavesitietoja.
- 7 Maastokartoituksen ja maanäytetutkimusten perusteella laadittu suunnitelma-alueen jako routivuusluokkiin.
- 8 Pintamaanäytteiden vesipitoisuuden ja savipitoisuuden vaihtelu valtatie 3 suunnitelmavälillä Riihimäki P - Virala.
- 9 - 13 Routamitoituksen seuranta- ja poikkileikkausten rakenne- ja materiaalitiedot. Paalut 66200, 75120, 76820 ja 79500.
- 13/1 - Pintamaanäytteiden luokitusominaisuudet taulukoituna
13/4 valtatie 3 suunnitelmavälillä Riihimäki P - Virala.
- 14/1 - Tierakenteen lämpötilamittausten tuloksia. Paalun 66200 louhe-
14/3 rakenteen lämpötilaprofiilit talven 1992 -93 aikana.
- 15/1 - Tierakenteen lämpötilamittausten tuloksia. Paalun 75120 louhe-
15/3 rakenteen lämpötilaprofiilit talven 1992 -93 aikana.
- 16/1 - Tierakenteen lämpötilamittausten tuloksia. Paalun 76820 sora/
16/3 maabetonirakenteen lämpötilaprofiilit talven 1992 -93 aikana.
- 17/1 - Tierakenteen lämpötilamittausten tuloksia. Paalun 79500 louhe-
17/3 rakenteen lämpötilaprofiilit talven 1992 -93 aikana.

PÄÄLLYSRAKENNEMITOITUS

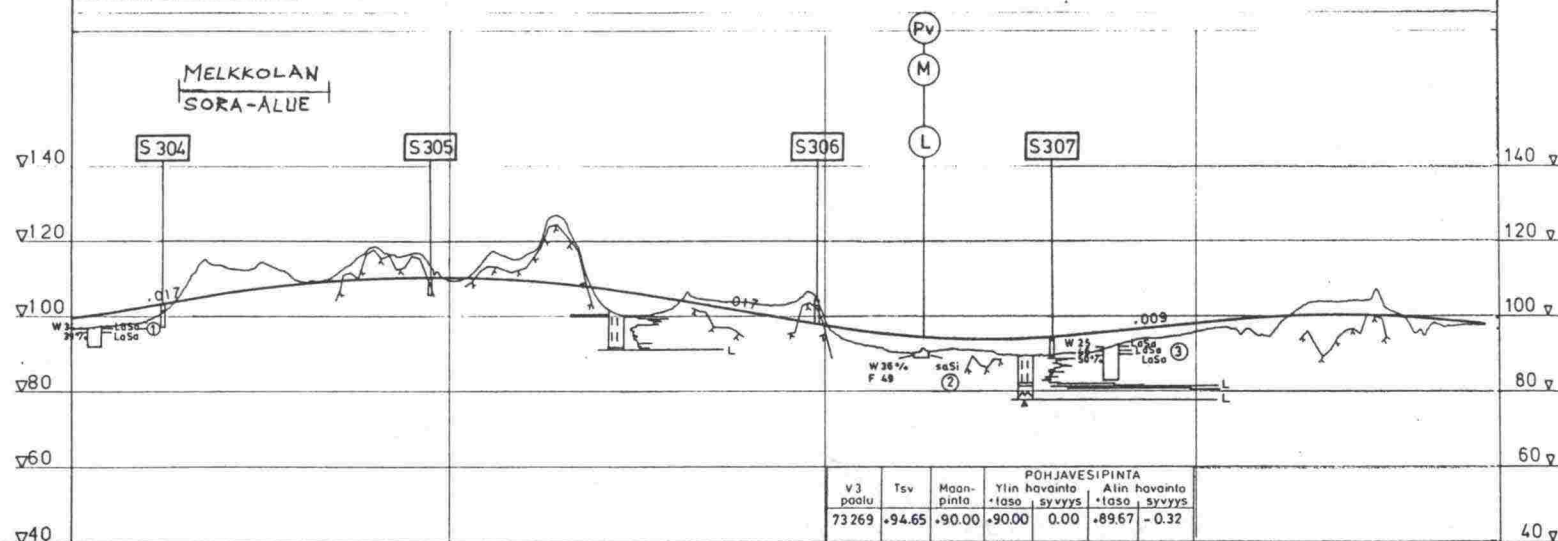
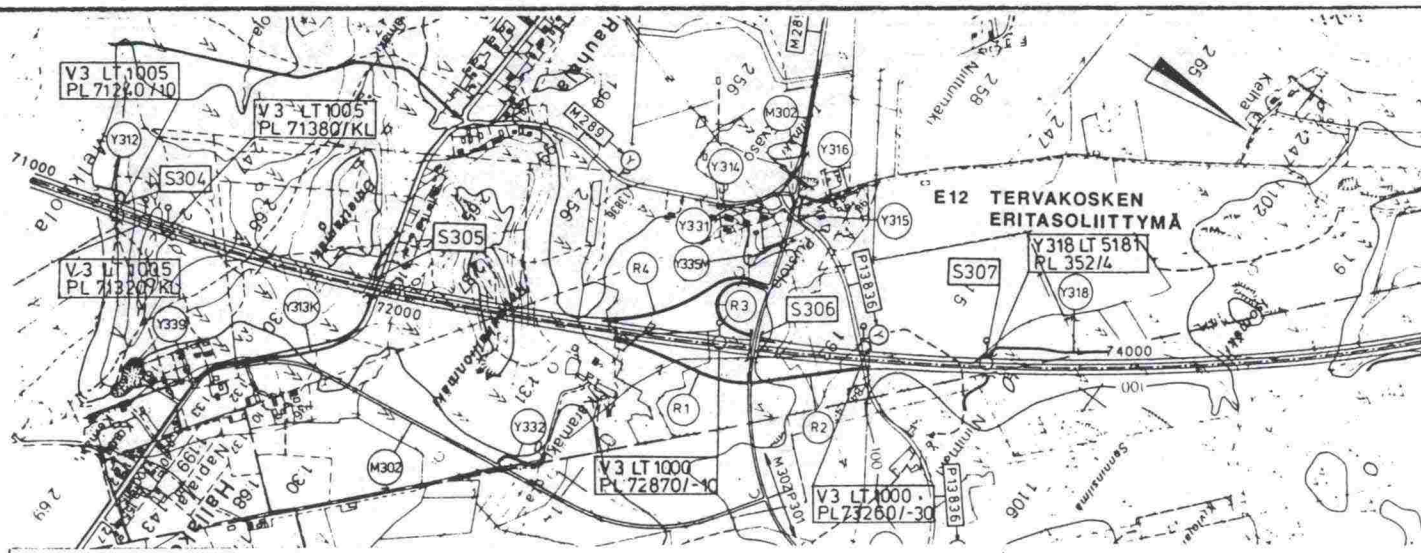
V3 PLV 67 200 - 71 000

1:20000 / 1:2000



PÄÄLYSRAKENNEMITOITUS
V3 PLV 71 000 - 74 800

1:20000 / 1:2000

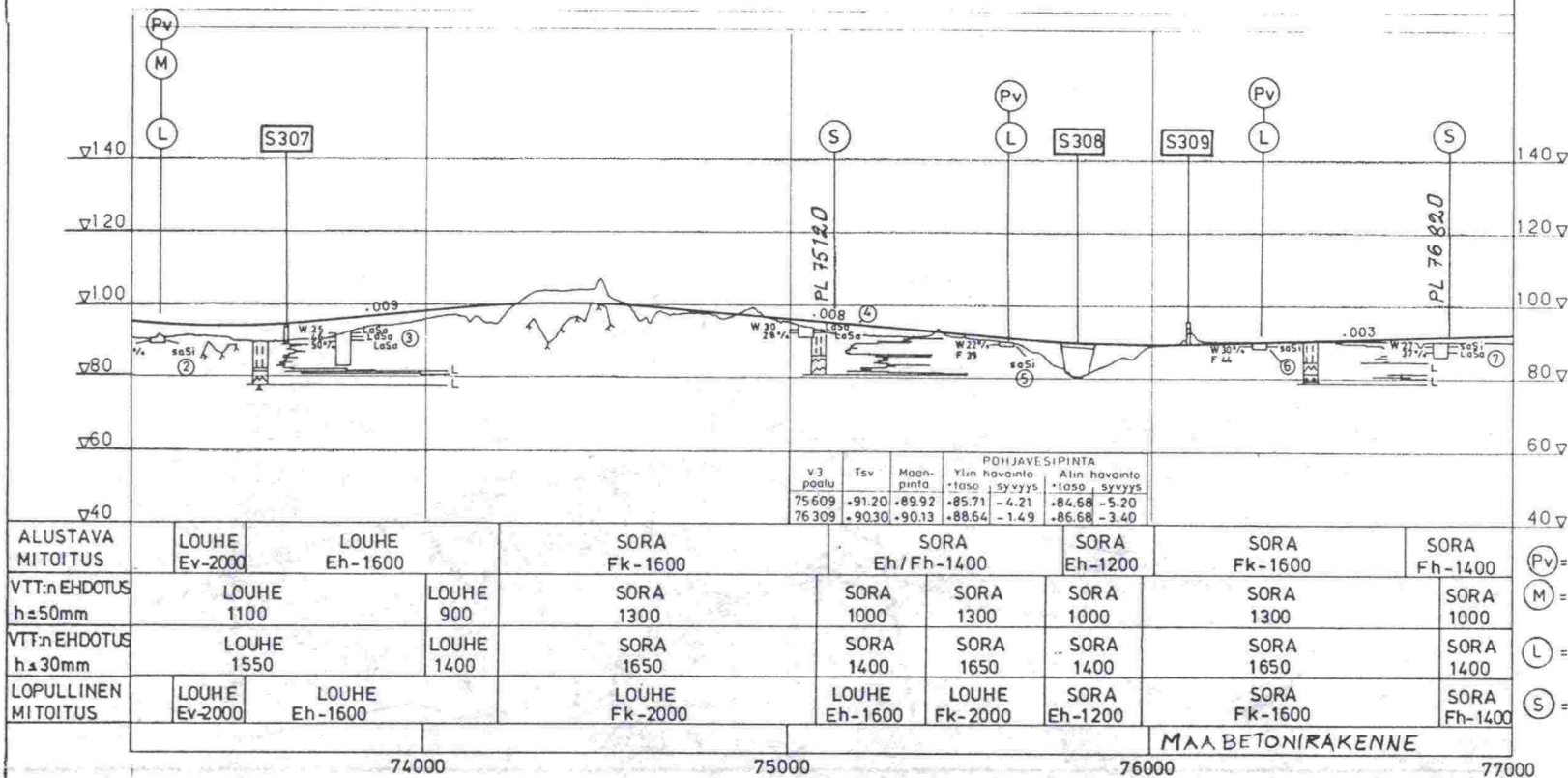
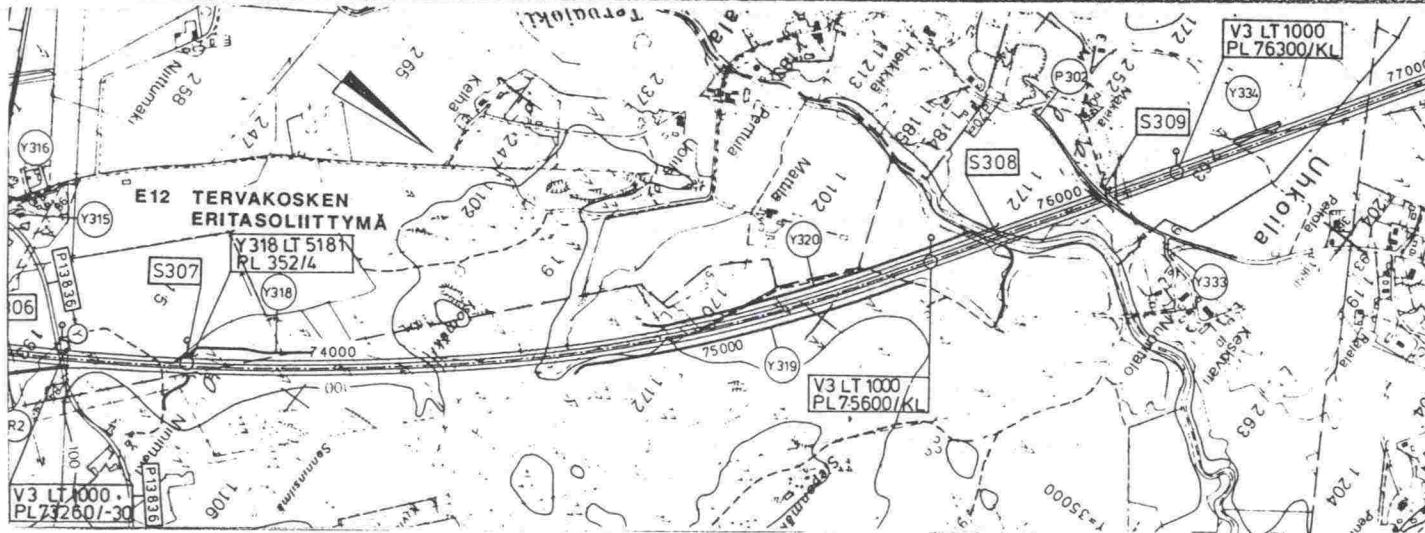


| | V3 | | Tsv | | Maan- pinta | | Ylin havainto -laso -syvyys | | Alin havainto -laso -syvyys | | | |
|----------------------|---------------|--------------|--------|---------------|----------------|---------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | paalu | | | | | | | | | | | |
| | 73269 | | +94.65 | | +90.00 | | +90.00 | | 0.00 | | +89.67 | -0.32 |
| ALUSTAVA MITOITUS | LOUHE Eh-1600 | SORA D-650 | 350 | LOUHE Fv-2200 | 350 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Fv-2200 | 350 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Ev-2000 | LOUHE Eh-1600 | SORA Fk-1600 |
| VTT:n EHDOTUS h±50mm | | LOUHE 900 | 350 | LOUHE 1100 | 350 | | LOUHE 1100 | 350 | | LOUHE 1100 | LOUHE 900 | SORA 1300 |
| VTT:n EHDOTUS h±30mm | | LOUHE 1400 | 350 | LOUHE 1550 | 350 | | LOUHE 1550 | 350 | | LOUHE 1550 | LOUHE 1400 | SORA 1650 |
| LOPULLINEN MITOITUS | | SORA Eh-1200 | A-350 | LOUHE Fv-2200 | A-350 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Fv-2200 | A-350 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Ev-2000 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Fk-2000 |
| | 71000 | | 72000 | | 73000 | | 74000 | | | | | |

- (Pv) = Pohjavesiputki
(M) = Routatutkimus-
piste maastossa
(L) = Routausokoe
laborat.
(S) = Seurantamittaus-
piste

PÄÄLYSRAKENNEMITOITUS
V3 PLV 73 200 - 77 000

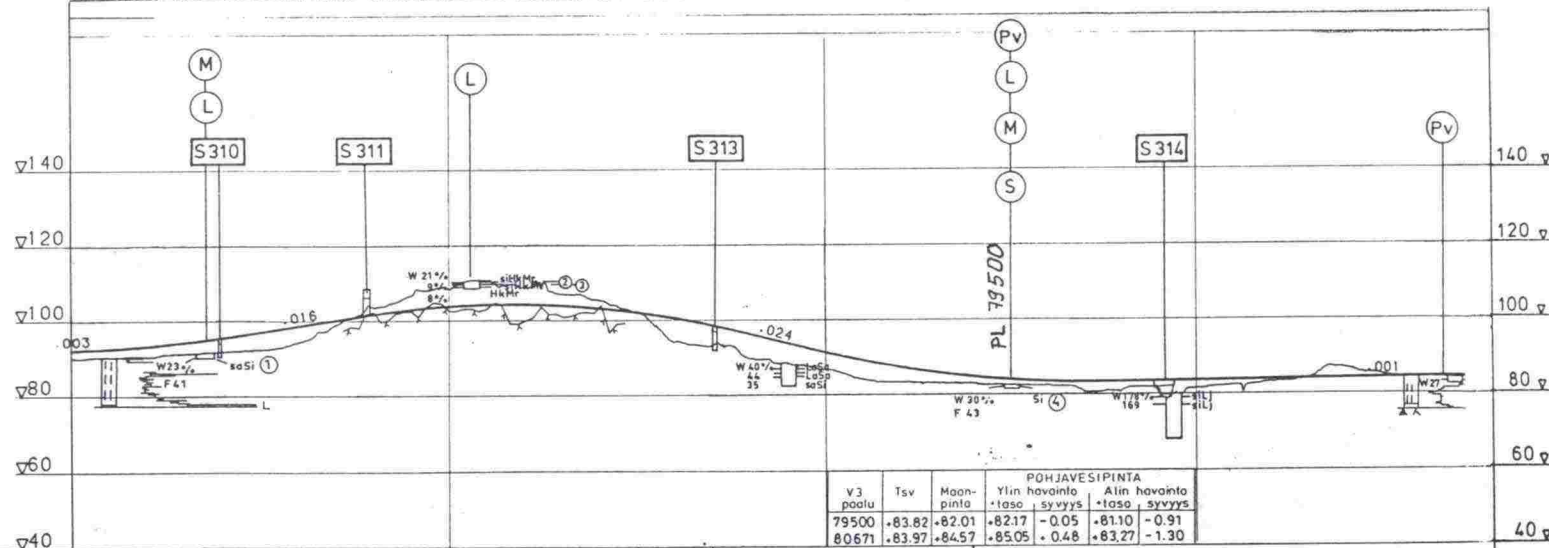
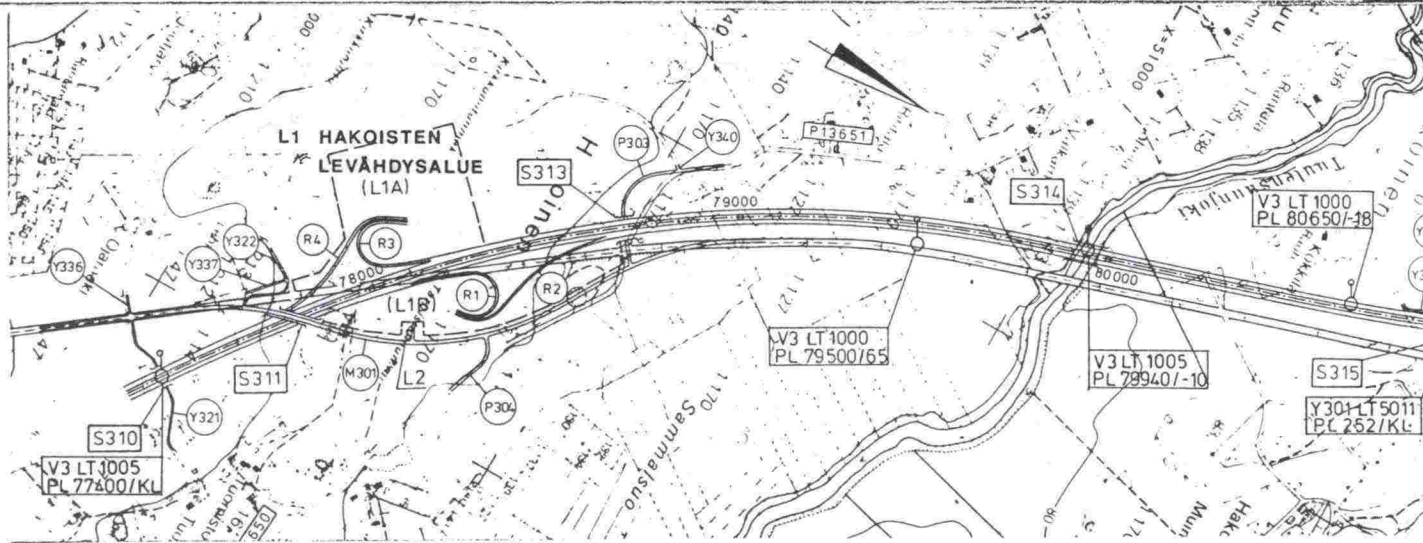
1:20000 / 1:2000



- (Pv) = Pohjavesiputki
(M) = Routatutkimuspiste maastossa
(L) = Routausukoe laborat.
(S) = Seurantamittauspiste

PÄÄLYSRAKENNEMITOITUS
V3 PLV 77 000 - 80 800

1:20000 / 1:2000

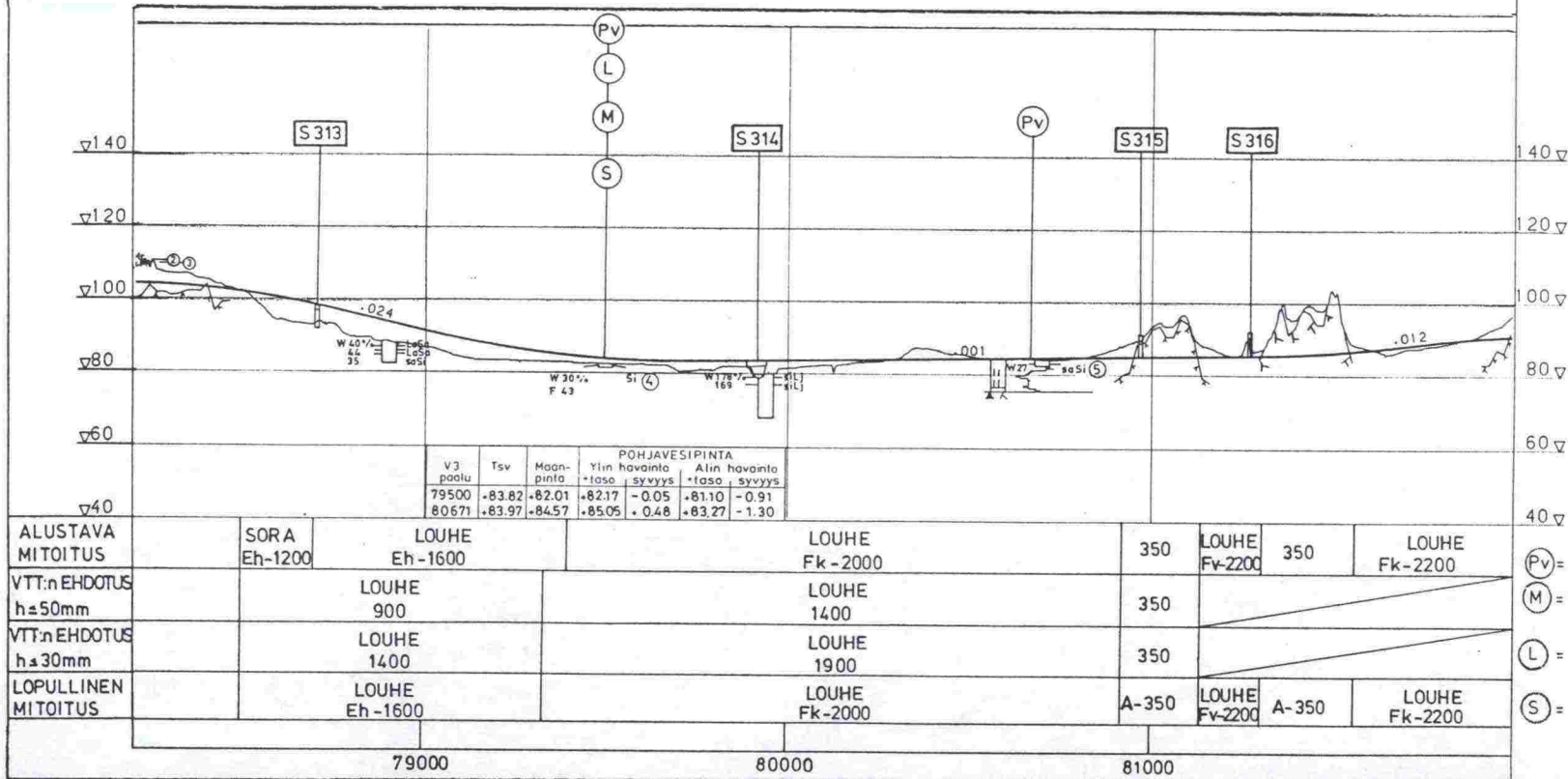
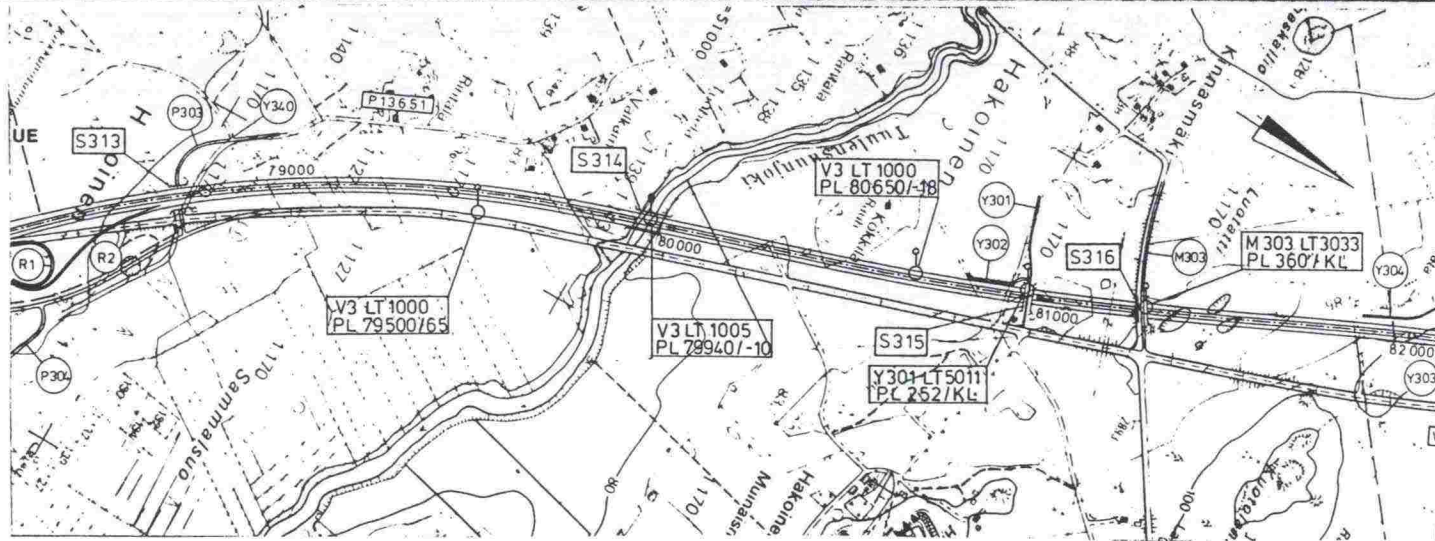


| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|
| ALUSTAVA MITOITUS | SORA Fh-1400 | SORA Eh-1200 | SORA Ev-1700 | SORA Eh-1200 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Fk-2000 |
| VT:n EHDOTUS h ± 50mm | | SORA 1000 | | | LOUHE 900 | LOUHE 1400 |
| VT:n EHDOTUS h ± 30mm | | SORA 1400 | | | LOUHE 1400 | LOUHE 1900 |
| LOPULLINEN MITOITUS | SORA Fh-1400 | SORA Eh-1200 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Ev-2500/A-350 | LOUHE Eh-1600 | LOUHE Fk-2000 |
| | MB-RAKENNE | | | | | |
| | 77000 | 78000 | 79000 | 80000 | | |

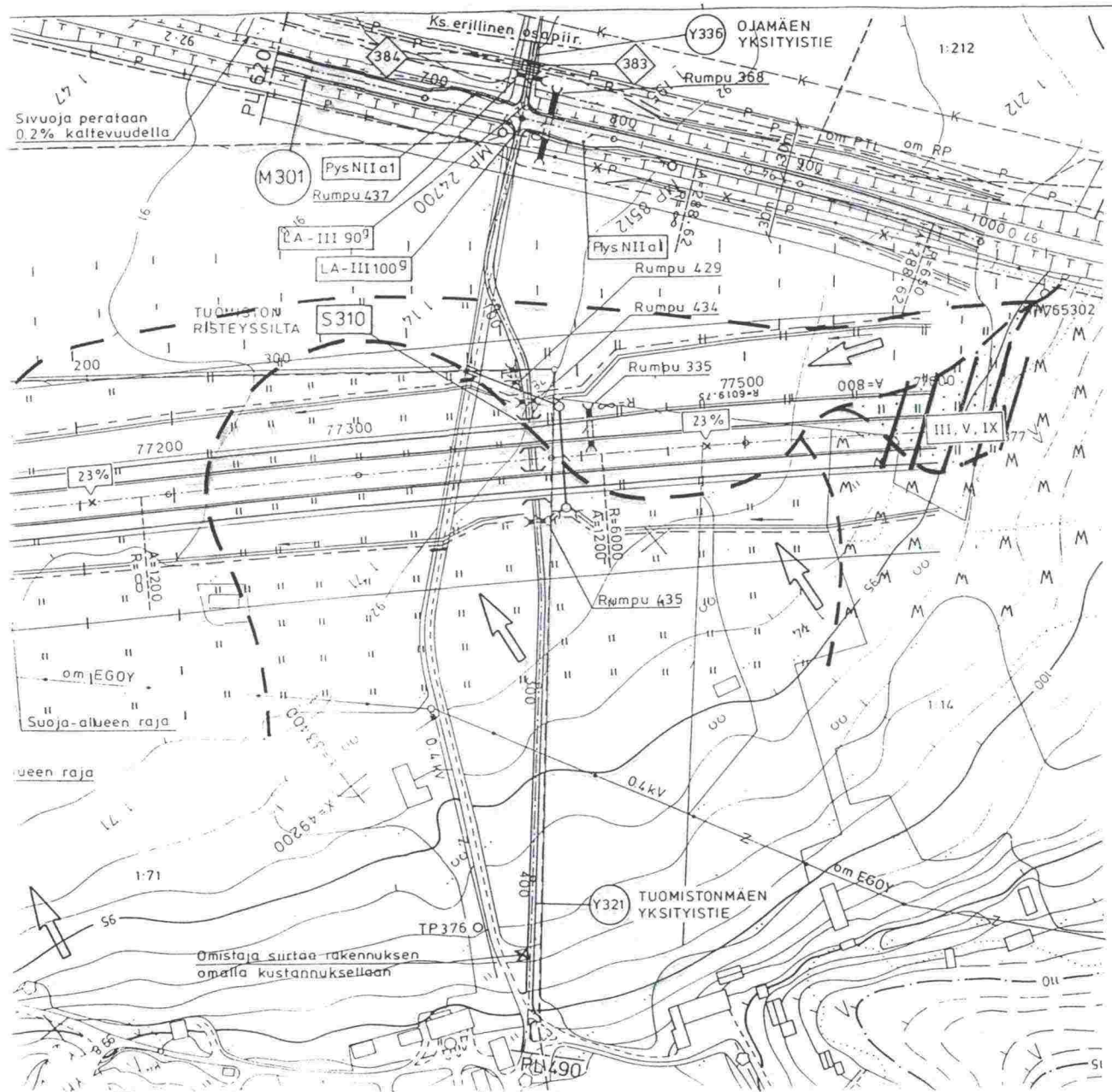
- (Pv) = Pohjavesiputki
- (M) = Routatutkimus-piste maastossa
- (L) = Routanousukoe laborat.
- (S) = Seurantamittaus-piste

PÄÄLISRAKENNEMITOITUS
V3 PLV 78 200 - 82 000

1:20000 / 1:2000



- (Pv) = Pohjavesiputki
(M) = Routatutkimus-piste maastossa
(L) = Routanousukoe laborat.
(S) = Seurantamittaus-piste

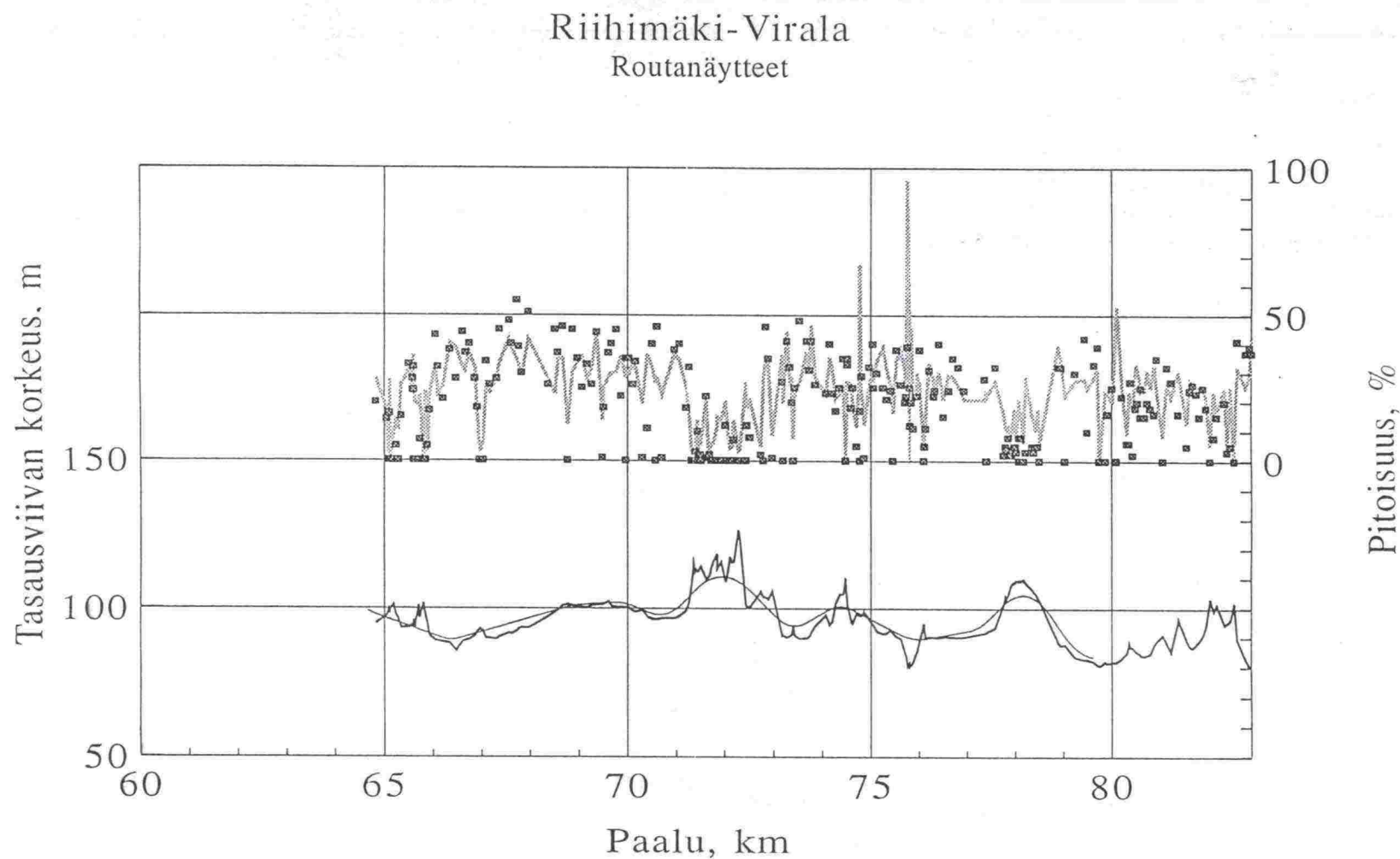


Liitekartta Routivuusaluejako

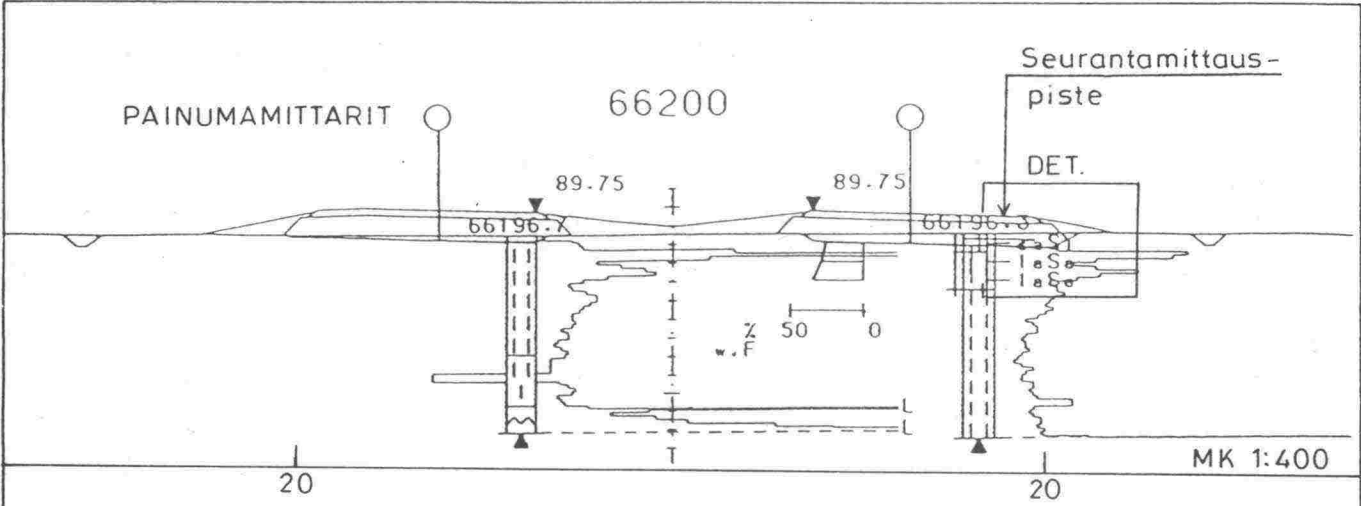
Merkinnät:

- M M Moreeni
- I I Savi
- II II Siltti
- III III Savinen siltti
- II : II Hiekkainen siltti
- 32 % Näytepiste, savipitoisuus ($\# < 0,002 \text{ mm}$)
- ➔ Pohja- ja pintavesien arvioitu päävirtausuunta
- /// Routivuusluokittelu
 - III Siltti (savi) $> 1 \text{ m}$, alla läpäisevä maapohja
 - V Siltti (savi) kiilamaisena kerrostumana läpäisevän maapohjan päällä (kiilan paksuus $0,1 - 1,0 \text{ m}$)
 - IX Kerroksellinen pohjamaa

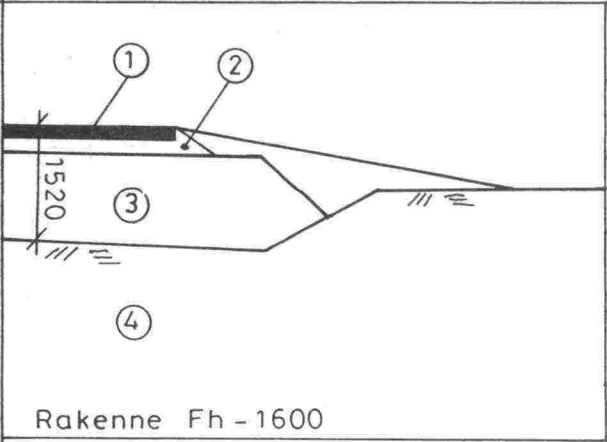
| | | | | |
|--|--------|--------------------|----------------------|-----|
| MERKKI | MUUTOS | PVM | SUUNN. | TAR |
| TIE- JA VESIRAKENNUSLAITOS | | | | |
| VALTATIE 3 RAKENTAMINEN MOOTTORITIENTÄ VÄLILLÄ RIIHIMÄKI - HÄMEENLINNA TIEOSA RIIHIMÄKI P - VIRALA | | | | |
| SUUNNITELMAKARTTA PLV 76600 - 77600 | | | MITTAKAAVA 1:2000 | |
| TVH | | PIIRI VUOSI HA | | |
| Sis | | 20 1987 5 | | |
| S. Kauri | | P. R. N:o | | |
| A. M. 2 | | R3/325 | | |



▪ Pitoisuus <#0,002 mm — Maanpinnan korkeus, m — Vesipitoisuus, % — Tasausviiva

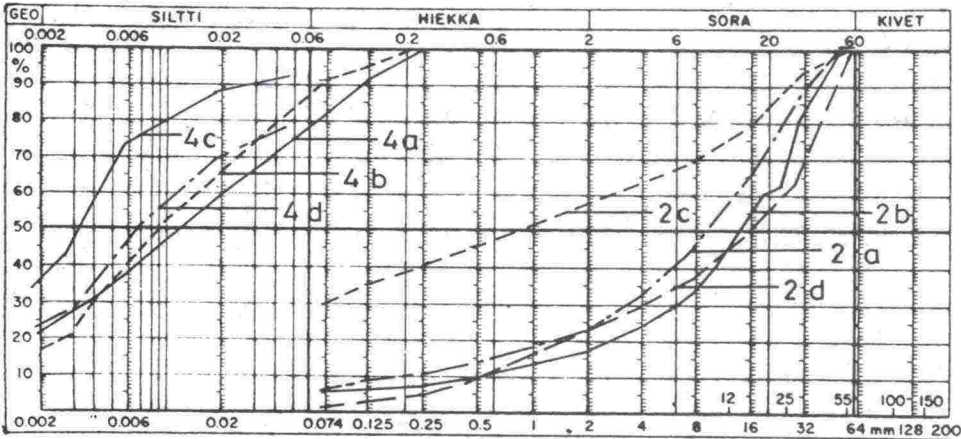


DET. 1:100



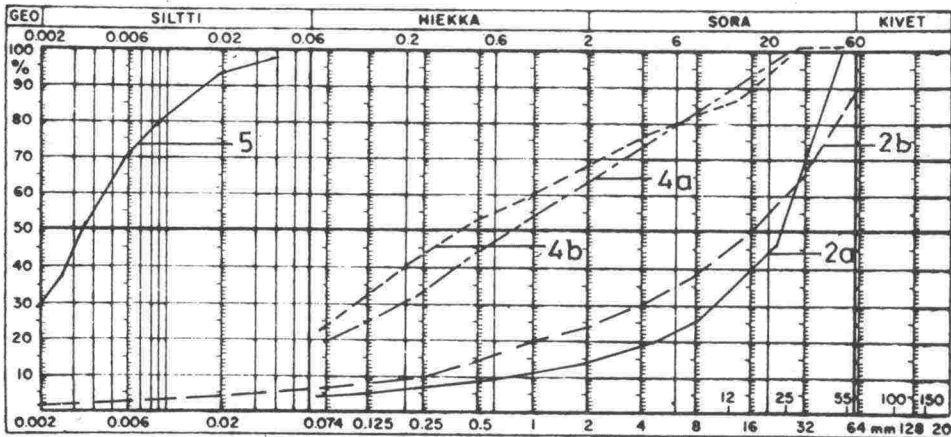
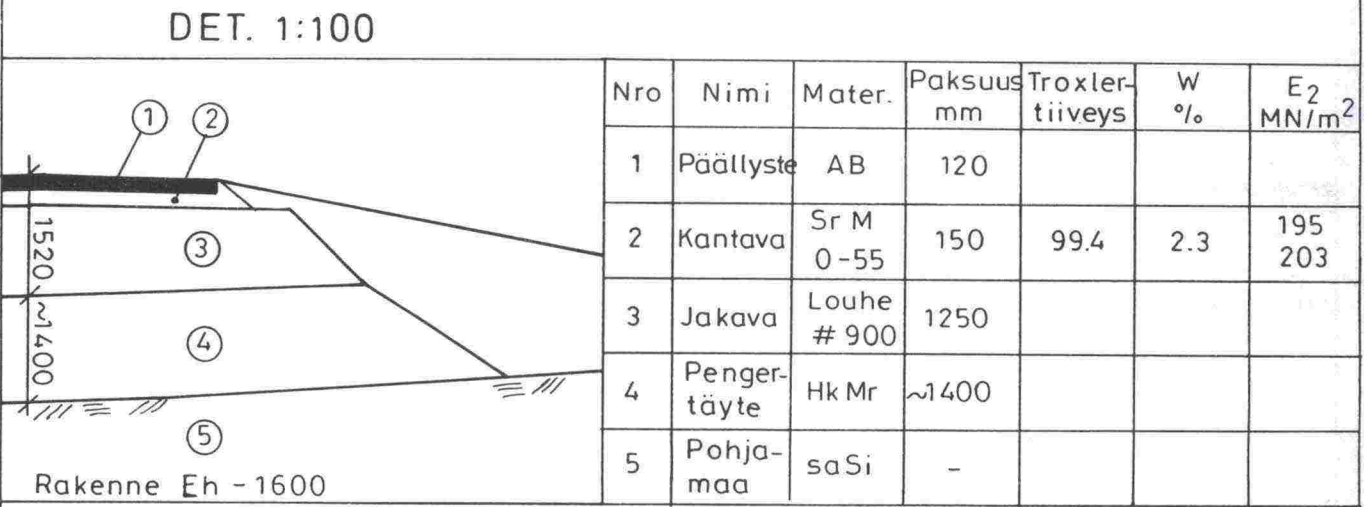
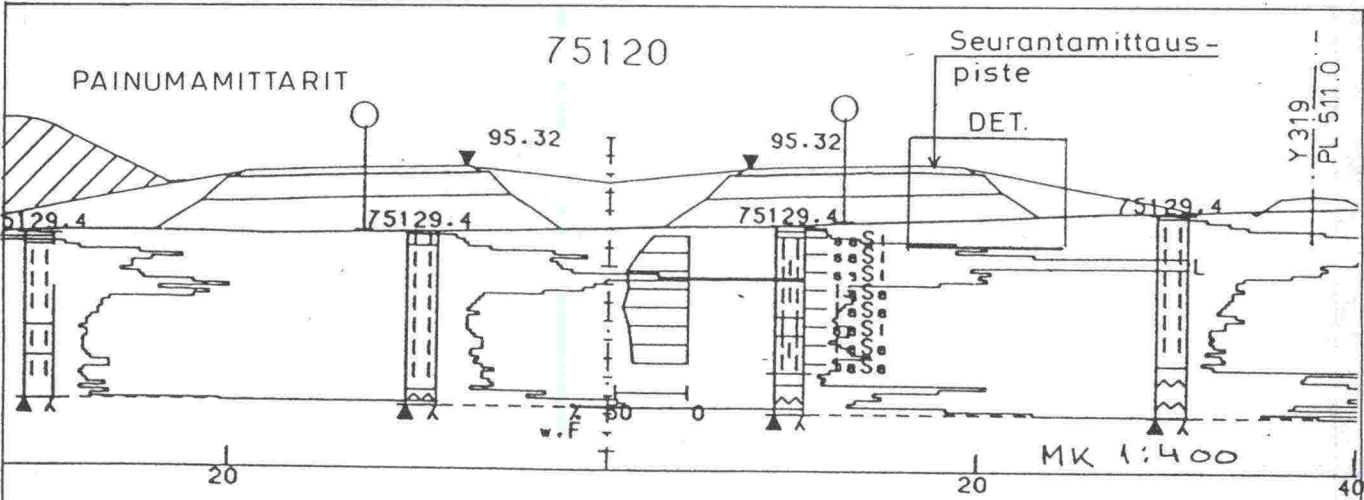
| Nro | Nimi | Mater. | Paksuus mm | γ kN/m ³ | W % | E ₂ MN/m ² |
|-----|---------------|----------------|---------------|-------------------------------|------------|-------------------------------------|
| 1 | Päällyste | AB | 120 | - | - | |
| 2 | Kantava | Sr M 0-55 | 150 | 21.05 22.77 | 2.5 2.2 | 285 |
| 3 | Jakava | Louhe # 900 | 1250 | - | - | |
| 4 | Pohja- maa | sa Si | - | 16.07 | 18.70 | |

1520



| NRO | PVM | W % |
|-----|----------|------|
| 2a | 13.9.91 | 2.1 |
| 2b | 16.10.92 | 2.9 |
| 2c | 16.10.92 | 10.8 |
| 2d | 16.10.92 | 1.8 |
| 4a | 7.9.92 | 22.1 |
| 4b | 7.9.92 | 26.6 |
| 4c | 16.10.92 | 30.7 |
| 4d | 16.10.92 | 25.7 |

Seurantamittauspiste pl 66200

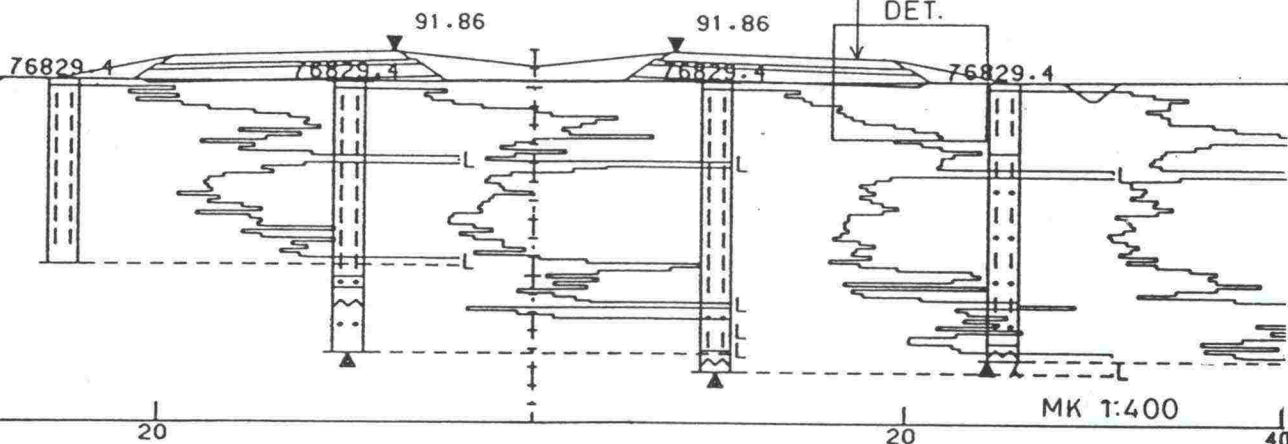


| NRO | PVM | W % |
|-----|----------|------|
| 2a | 16.10.92 | 2.3 |
| 2b | 16.10.92 | 3.1 |
| 4a | 16.10.92 | 9.6 |
| 4b | 16.10.92 | 6.6 |
| 5 | 16.10.92 | 29.0 |

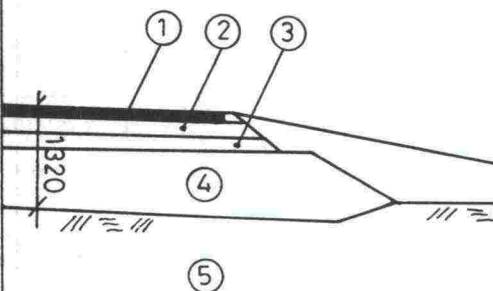
1) Kiilausmurske

Seurantamittauspiste pl 75120

76820

Seurantamittaus-
piste
DET.

DET. 1:100

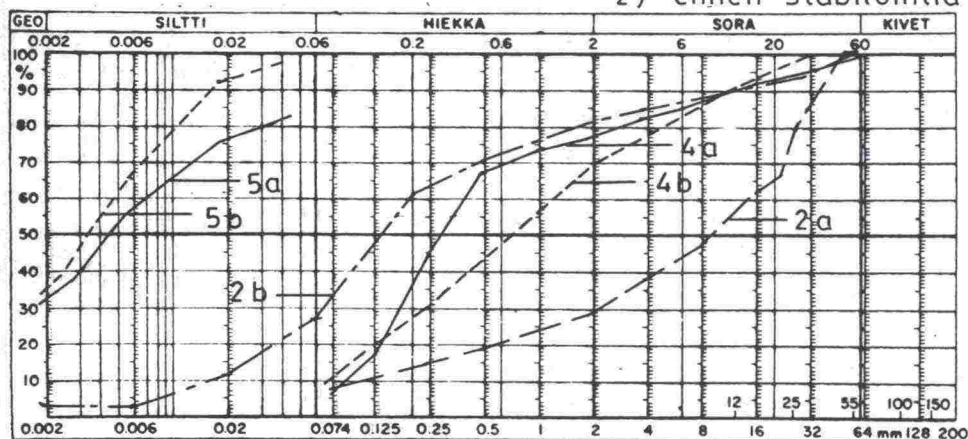


Rakenne Fh-1400

| Nro | Nimi | Mater. | Paksuus mm | γ kN/m ³ | W % | E ₂ MN/m ³ |
|-----|----------------------|----------------|-------------------|-------------------------------|--------|--|
| 1 | Päällyste | KBAB | 50 | | | |
| 2 | Kantava Maabetoni | KaM 0-32 | 170 ¹⁾ | | | 132 ²⁾ 142 ²⁾ |
| 3 | Jakava | KaM 0-55 | 150 | | | |
| 4 | Suodatin | Sr/Hk 0-150 | 950 | | | |
| 5 | Pohja- maa | laSa | | | | |

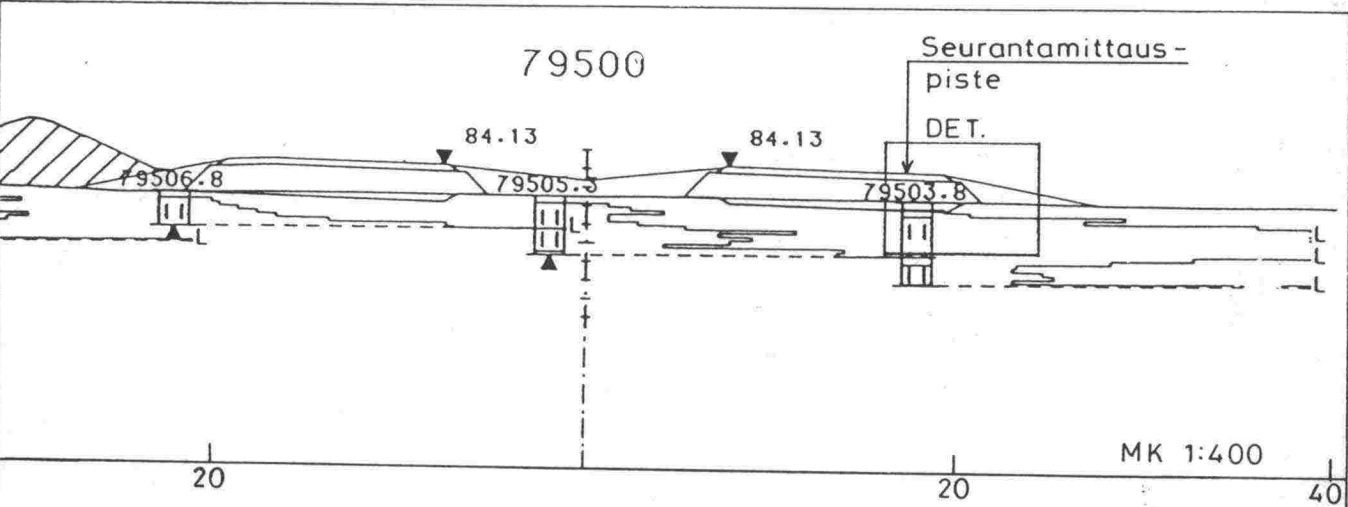
1) Sementtistabilointi 150 mm

2) ennen stabilointia

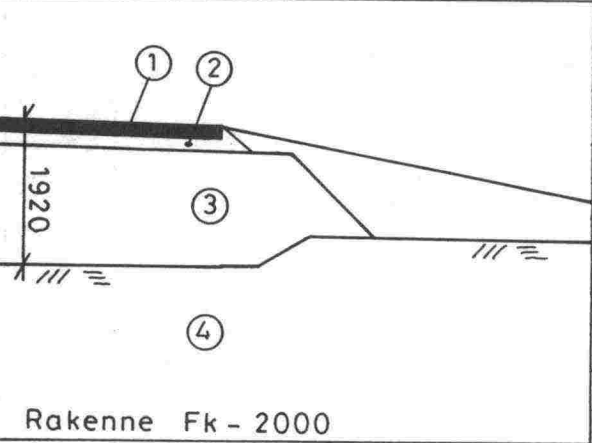


| NRO | PVM | W% |
|-----|----------|------|
| 2a | 16.10.92 | 4.8 |
| 2b | 16.10.92 | 14.4 |
| 5a | 16.10.92 | 26.4 |
| 5b | 16.10.92 | 35.3 |
| 4a | 22.3.91 | — |
| 4b | 4.4.91 | — |

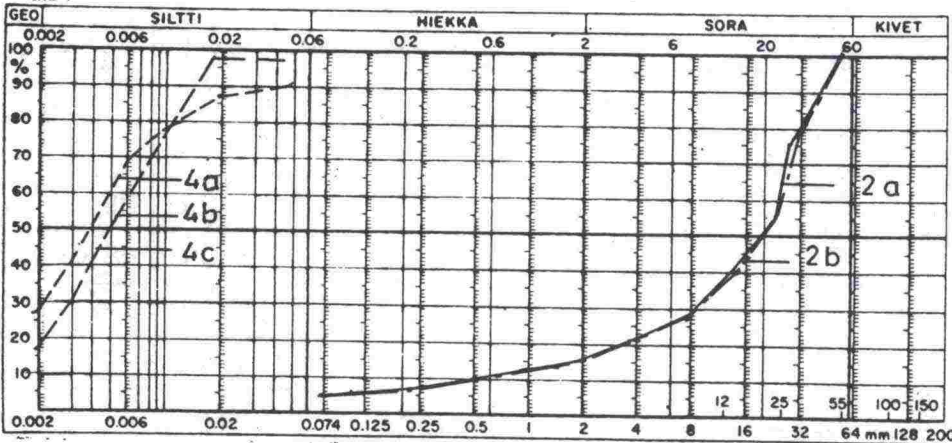
Seurantamittauspiste pl 76820



DET. 1:100



| Nro | Nimi | Mater. | Paksuus mm | γ kN/m ³ | W % | |
|-----|-----------|-------------|------------|----------------------------|------------|--|
| 1 | Päällyste | AB | 120 | | | |
| 2 | Kantava | SrM 0-55 | 150 | 22.67 23.27 | 5.5 6.5 | |
| 3 | Jakava | Louhe # 900 | 1650 | — | — | |
| 4 | Pohjamaa | lj Si | — | 13.46 | 32.0 | |



| NRO | PVM | W % |
|-----|----------|------|
| 2a | 14.10.91 | 2.8 |
| 2b | 16.10.92 | 3.2 |
| 4a | 5.9.90 | 24.5 |
| 4b | 6.9.90 | 33.1 |
| 4c | 6.10.92 | 35.0 |

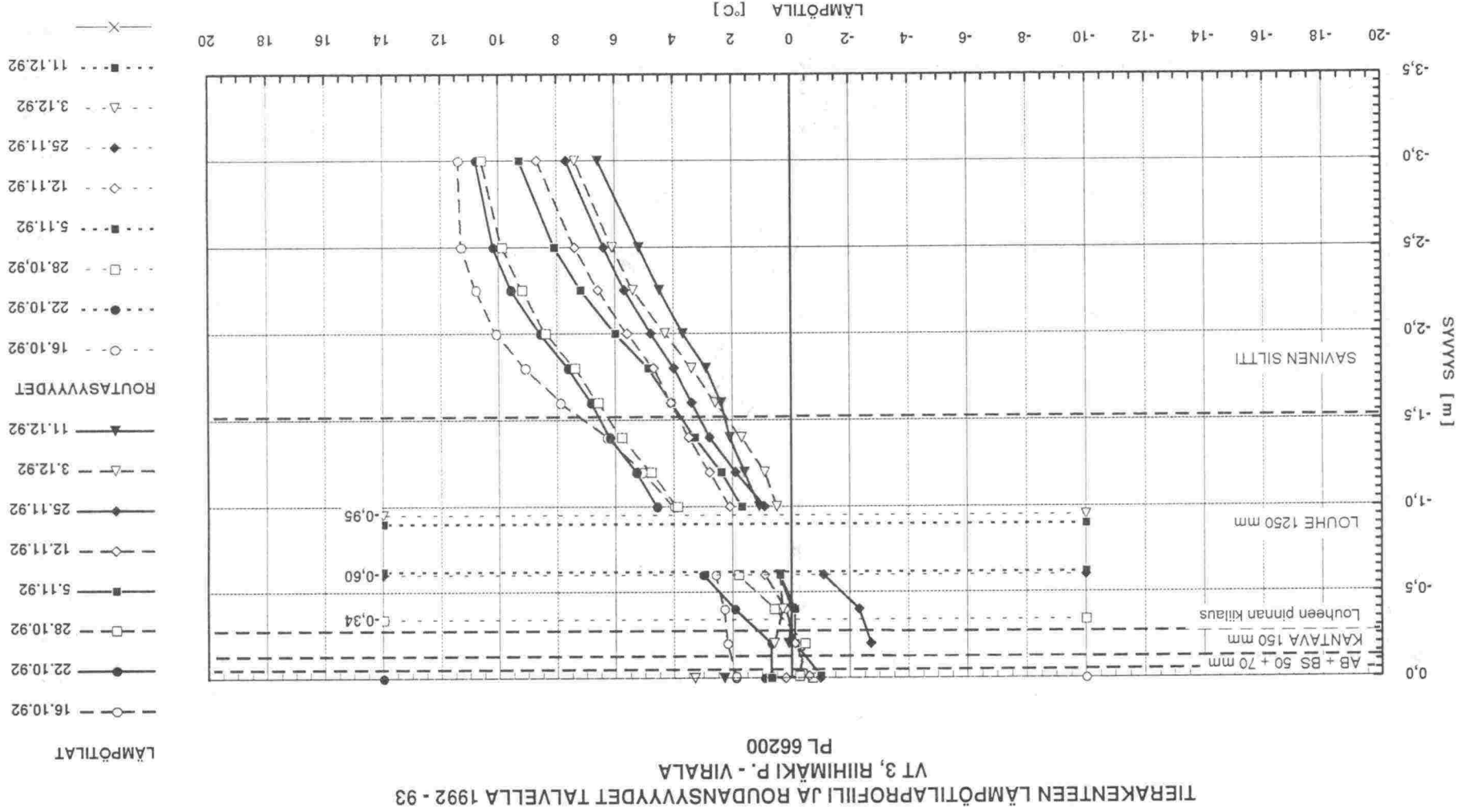
Seurantamittauspiste pl 79500

| Taulukko: Moottoritielinjan maanäytteet: | | | | | | | sivu 1 |
|--|----------|---------------------------------|--------|----------|-----------|------------|---------|
| | | Pintamaan luokitusominaisuuksia | | | | | |
| Paalu | etäisyys | maanp. | näyte | Vesipit. | saviaines | hienoaines | |
| lukema | linjasta | korkeus | syvyys | % | # 0.002 | # 0.06 | # 0.074 |
| 64820 | -10,0 | 94,80 | 1,45 | 28,2 | 20 | 100 | 100 |
| 65040 | -13,1 | 97,31 | 0,45 | 17,5 | 14 | 80 | 84 |
| 65080 | -10,3 | 99,24 | 0,60 | 2,7 | 0 | 4 | 8 |
| 65100 | 10,3 | 97,90 | 0,57 | 27,6 | 16 | 96 | 100 |
| 65117 | -12,1 | 99,65 | 0,60 | 1,1 | 0 | 13 | 15 |
| 65178 | 6,3 | 100,84 | 0,60 | 8,7 | 0 | 12 | 15 |
| 65238 | 4,2 | 97,55 | 0,80 | 14,2 | 5 | 28 | 31 |
| 65280 | -19,5 | 96,30 | 0,60 | 10,2 | 0 | 4 | 8 |
| 65340 | 9,9 | 93,31 | 0,67 | 25,6 | 15 | 100 | 100 |
| 65500 | 12,9 | 93,35 | 0,50 | 31,1 | 33 | 94 | 95 |
| 65580 | -9,8 | 94,44 | 0,75 | 22,1 | 24 | 82 | 84 |
| 65580 | 11,2 | 93,52 | 1,50 | 32,2 | 28 | 95 | 96 |
| 65600 | -10,0 | 95,41 | 0,60 | 28,4 | 32 | 85 | 88 |
| 65600 | -15,0 | 96,00 | 2,50 | 36,1 | 24 | 100 | 100 |
| 65600 | 10,0 | 94,03 | 0,60 | 24,3 | 0 | 0 | |
| 65620 | 22,0 | 93,57 | 0,60 | 19,7 | 0 | 0 | |
| 65620 | 21,9 | 93,55 | 0,60 | 19,7 | 0 | 0 | |
| 65698 | -15,4 | 100,86 | 0,60 | 19,1 | 0 | 20 | 23 |
| 65720 | 22,3 | 96,63 | 0,55 | 22,4 | 7 | 41 | 45 |
| 65798 | -15,7 | 101,55 | 0,70 | 0,8 | 0 | 17 | 21 |
| 65838 | -15,1 | 97,20 | 0,65 | 23,5 | 0 | 0 | |
| 65877 | -14,4 | 94,76 | 0,75 | 2,7 | 5 | 26 | 28 |
| 65920 | 10,3 | 90,75 | 0,60 | 22,2 | 17 | 79 | 82 |
| 66040 | 0,1 | 88,96 | 0,50 | 33,2 | 43 | 92 | 93 |
| 66097 | -0,4 | 88,84 | 0,75 | 22,6 | 32 | 95 | 96 |
| 66200 | 16,1 | 88,54 | 0,50 | 25,4 | 21 | 85 | 83 |
| 66337 | -16,7 | 88,07 | 1,50 | 40,3 | 38 | 95 | 97 |
| 66466 | -7,3 | 85,58 | 2,20 | 38,8 | 28 | 100 | 100 |
| 66600 | 0,0 | 88,67 | 0,50 | 32,1 | 44 | 93 | 94 |
| 67018 | -2,2 | 92,21 | 0,75 | 6,1 | 0 | 0 | 10 |
| 67080 | -12,8 | 89,85 | 0,60 | 25,6 | 34 | 67 | 70 |
| 67157 | -34,2 | 89,79 | 0,62 | 23,3 | 26 | 92 | 94 |
| 67300 | 13,0 | 89,47 | 0,77 | 28,1 | 28 | 97 | 100 |
| 67358 | -14,8 | 90,37 | 0,57 | 33,3 | 45 | 96 | 97 |
| 67559 | -12,8 | 91,63 | 1,50 | 41,8 | 48 | 82 | 83 |
| 67600 | -12,0 | 91,33 | 1,50 | 38,9 | 40 | 72 | 76 |
| 67720 | 9,8 | 92,32 | 0,60 | 34,7 | 55 | 82 | 84 |
| 67760 | -28,0 | 92,99 | 0,65 | 32,9 | 39 | 90 | 92 |
| 67820 | -13,1 | 93,48 | 0,80 | 29,0 | 30 | 59 | 62 |
| 67960 | 1,3 | 93,36 | 1,50 | 41,8 | 51 | 75 | 77 |
| 68360 | 9,5 | 97,04 | 0,60 | 28,0 | 26 | 51 | 55 |
| 68500 | -13,0 | 98,67 | 0,57 | 22,8 | 45 | 95 | 96 |
| 68560 | -10,0 | 99,33 | 0,60 | 34,8 | 37 | 94 | 95 |
| 69160 | 10,0 | 100,08 | 0,60 | 27,6 | 33 | 94 | 95 |
| 69260 | 13,0 | 100,91 | 0,50 | 32,0 | 26 | 87 | 90 |
| 69360 | -10,0 | 100,99 | 1,50 | 44,0 | 44 | 97 | 98 |
| 69478 | 0,0 | 101,19 | 1,50 | 13,8 | 1 | 41 | 49 |
| 69500 | 0,0 | 101,28 | 0,40 | 25,2 | 18 | 76 | 80 |

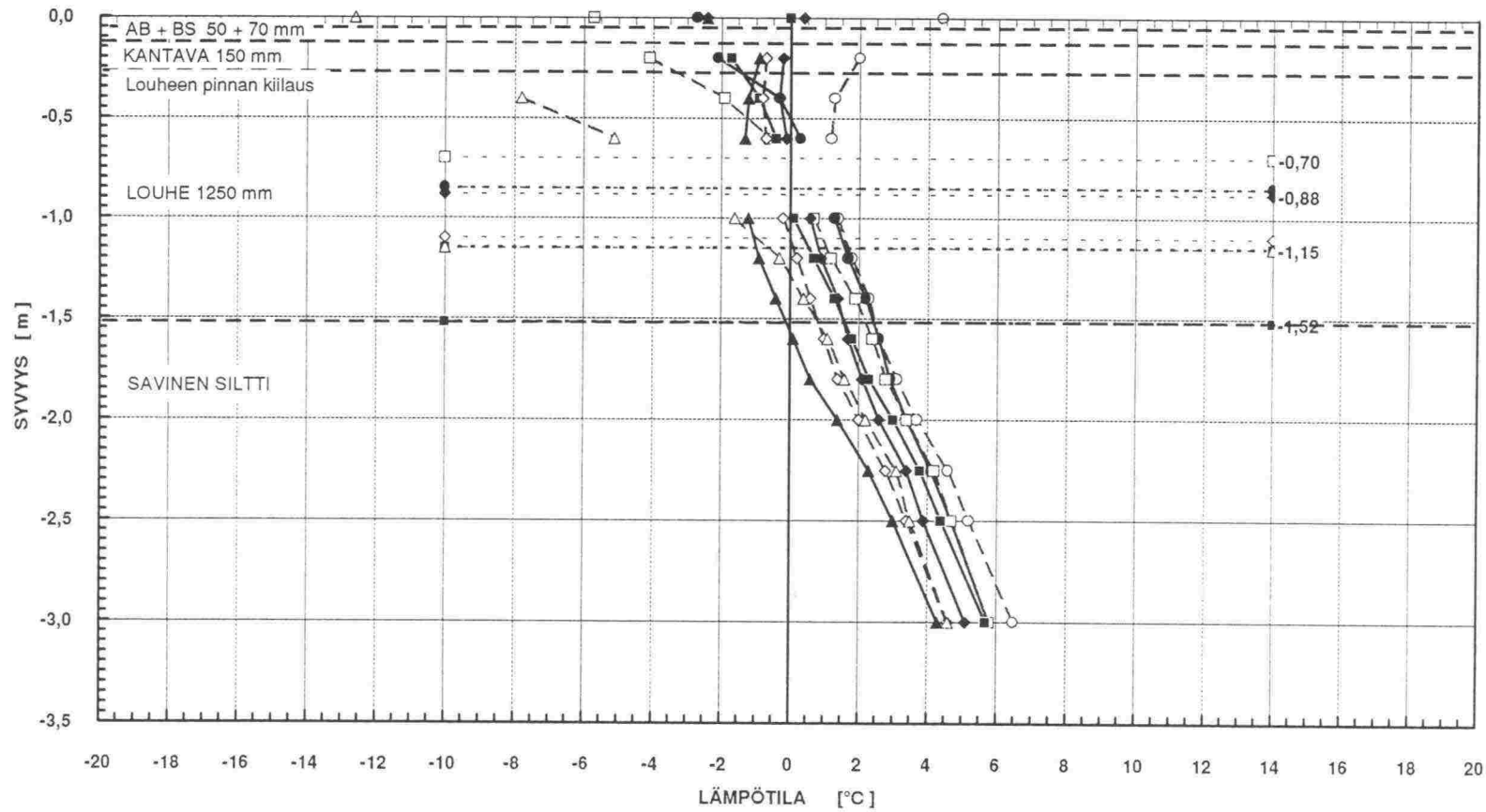
| Taulukko: Moottoritielinjan maanäytteen; | | | | | | | | sivu 2 |
|--|----------|---------------------------------|--------|----------|-----------|------------|---------|--------|
| | | Pintamaan luokitusominaisuuksia | | | | | | |
| Paalu | etäisyys | maanp. | näyte | Vesipit. | saviaines | hienoaines | | |
| lukema | linjasta | korkeus | syvyys | % | # 0.002 | # 0.06 | # 0.074 | |
| 70400 | 10,0 | 97,11 | 0,50 | 36,6 | 11 | 55 | 61 | |
| 70500 | 13,0 | 96,35 | 0,60 | 32,1 | 40 | 93 | 96 | |
| 70568 | 48,3 | 96,20 | 0,65 | 26,6 | 0 | 0 | | |
| 70600 | 12,0 | 96,23 | 0,70 | 28,8 | 46 | 92 | 94 | |
| 70700 | -13,0 | 96,67 | 0,40 | 22,7 | 1 | 31 | 34 | |
| 70960 | 10,0 | 96,57 | 0,67 | 36,7 | 38 | 94 | 95 | |
| 71060 | 0,0 | 97,30 | 0,62 | 34,4 | 40 | 100 | 100 | |
| 71200 | -10,0 | 99,14 | 0,65 | 25,0 | 18 | 84 | 87 | |
| 71260 | 0,0 | 102,29 | 1,05 | 15,4 | 32 | 80 | 82 | |
| 71311 | 27,7 | 108,43 | 0,50 | 3,2 | 0 | 0 | 1 | |
| 71340 | 0,0 | 113,87 | 0,70 | 2,7 | 0 | 0 | | |
| 71347 | -38,8 | 112,94 | 0,50 | 2,8 | 0 | 0 | 1 | |
| 71351 | 24,9 | 115,11 | 0,60 | 2,7 | 0 | 0 | 1 | |
| 71380 | -30,0 | 112,38 | 0,45 | 1,6 | 0 | 0 | 1 | |
| 71388 | -17,7 | 112,72 | 0,45 | 2,9 | 0 | 0 | 1 | |
| 71391 | 22,2 | 113,18 | 0,40 | 8,0 | 3 | 8 | 9 | |
| 71431 | 19,6 | 112,30 | 1,15 | 13,8 | 10 | 52 | 75 | |
| 71440 | -40,0 | 112,30 | 0,70 | 3,5 | 0 | 0 | | |
| 71490 | 16,1 | 113,71 | 0,65 | 8,7 | 2 | 15 | 19 | |
| 71510 | 14,9 | 113,96 | 1,40 | 6,4 | 0 | 12 | 20 | |
| 71620 | -15,0 | 109,57 | 0,65 | 20,9 | 22 | 48 | 50 | |
| 71660 | -15,0 | 110,48 | 0,57 | 4,9 | 1 | 3 | 4 | |
| 71689 | -3,2 | 110,96 | 0,55 | 2,9 | 2 | 5 | 5 | |
| 71729 | -4,6 | 113,75 | 0,55 | 6,0 | 0 | 0 | 6 | |
| 71770 | 14,1 | 115,75 | 0,55 | 6,1 | 0 | 0 | 3 | |
| 71849 | -27,8 | 118,16 | 0,55 | 11,8 | 0 | 0 | 1 | |
| 71850 | 32,1 | 113,39 | 0,55 | 14,8 | 0 | 25 | 30 | |
| 71931 | 0,7 | 115,44 | 0,35 | 13,9 | 0 | 0 | 3 | |
| 72020 | 13,0 | 108,73 | 0,65 | 20,4 | 12 | 19 | 20 | |
| 72309 | 0,0 | 123,74 | 0,92 | 3,5 | 0 | 16 | 20 | |
| 72429 | 10,0 | 101,21 | 0,55 | 26,9 | 0 | 0 | | |
| 72449 | 10,0 | 100,53 | 0,42 | 18,1 | 12 | 32 | 35 | |
| 72509 | -10,0 | 100,29 | 0,40 | 21,3 | 8 | 26 | 29 | |
| 72732 | -30,0 | 105,53 | 1,00 | 4,9 | 2 | 30 | 35 | |
| 72789 | 10,1 | 103,75 | 0,70 | 27,1 | 0 | 0 | 0 | |
| 72831 | -30,0 | 103,69 | 1,75 | 35,7 | 46 | 72 | 80 | |
| 72889 | 0,1 | 103,11 | 0,60 | 32,8 | 35 | 66 | 70 | |
| 72969 | 0,0 | 105,66 | 0,35 | 8,7 | 1 | 3 | 3 | |
| 73169 | -10,0 | 90,74 | 2,70 | 36,3 | 27 | 65 | 70 | |
| 73190 | 30,0 | 90,88 | 0,75 | 19,7 | 0 | 0 | 0 | |
| 73269 | -25,0 | 90,11 | 1,25 | 44,4 | 41 | 78 | 80 | |
| 73329 | -10,0 | 90,63 | 0,60 | 27,1 | 32 | 61 | 64 | |
| 73369 | 0,0 | 90,99 | 0,65 | 27,9 | 20 | 39 | 40 | |
| 73400 | 20,0 | 94,39 | 0,50 | 7,6 | 0 | 9 | 11 | |
| 73428 | 0,0 | 90,88 | 0,65 | 21,7 | 25 | 52 | 55 | |
| 73529 | 9,9 | 89,74 | 0,67 | 26,7 | 48 | 82 | 85 | |
| 73680 | -10,0 | 90,01 | 0,50 | 37,2 | 41 | 68 | 70 | |
| 73729 | -10,0 | 90,46 | 0,60 | 30,4 | 31 | 57 | 60 | |

| Taulukko: Moottoritien maanäytteet; Pintamaan luokitusominaisuuksia | | | | | | | sivu 3 |
|--|----------------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------------|----------------------|---------|
| Paalu lukema | etäisyys linjasta | maanp. korkeus | näyte syvyys | Vesipit. % | saviaines # 0.002 | hienoaines # 0.06 | # 0.074 |
| 74269 | 0,0 | 101,59 | 0,60 | 21,4 | 17 | 35 | 36 |
| 74349 | -20,0 | 104,66 | 0,65 | 23,3 | 25 | 42 | 45 |
| 74429 | -20,0 | 104,92 | 1,50 | 24,6 | 35 | 56 | 60 |
| 74474 | -20,0 | 110,26 | 0,60 | 0,1 | 0 | 0 | 8 |
| 74509 | 0,0 | 101,98 | 1,50 | 21,8 | 35 | 65 | 70 |
| 74769 | 0,0 | 97,53 | 0,60 | 304,3 | 0 | 0 | |
| 74800 | 15,0 | 97,55 | 0,50 | 24,6 | 29 | 55 | 60 |
| 74859 | 20,0 | 98,86 | 0,60 | 12,3 | 1 | 38 | 41 |
| 74960 | 15,0 | 96,51 | 0,75 | 25,2 | 32 | 88 | 92 |
| 75040 | 10,0 | 94,43 | 0,63 | 30,6 | 40 | 70 | 71 |
| 75049 | 10,0 | 94,37 | 0,45 | 27,8 | 25 | 55 | 58 |
| 75120 | 10,0 | 92,26 | 1,50 | 34,2 | 30 | 70 | 72 |
| 75249 | 10,0 | 91,49 | 0,90 | 38,7 | 25 | 55 | 59 |
| 75320 | 10,0 | 91,58 | 0,75 | 31,6 | 21 | 38 | 40 |
| 75400 | 10,0 | 92,80 | 0,70 | 26,0 | 24 | 45 | 50 |
| 75449 | 10,0 | 91,78 | 0,75 | 16,4 | 0 | 0 | |
| 75520 | -10,1 | 90,55 | 0,75 | 34,4 | 38 | 68 | 70 |
| 75609 | -10,0 | 89,80 | 1,25 | 38,2 | 26 | 70 | 75 |
| 75700 | -30,0 | 84,76 | 1,50 | 31,1 | 20 | 97 | 100 |
| 75720 | 0,0 | 84,19 | 1,50 | 24,1 | 22 | 100 | 100 |
| 75749 | -30,0 | 80,52 | 0,70 | 93,0 | 39 | 94 | 97 |
| 75793 | -16,0 | 81,59 | 1,50 | 23,9 | 20 | 34 | 36 |
| 75798 | 16,0 | 80,49 | 1,50 | 47,9 | 25 | 90 | 100 |
| 75802 | -10,0 | 80,59 | 0,80 | 43,6 | 12 | 35 | 38 |
| 75825 | 15,0 | 80,69 | 0,52 | 45,9 | 20 | 45 | 47 |
| 75869 | 20,0 | 81,82 | 0,60 | 20,8 | 11 | 76 | 78 |
| 75929 | 10,1 | 84,71 | 0,75 | 22,8 | 22 | 100 | 100 |
| 75949 | 20,1 | 85,18 | 0,60 | 30,2 | 22 | 100 | 100 |
| 76000 | -10,0 | 89,15 | 0,42 | 26,6 | 38 | 80 | 83 |
| 76089 | -30,0 | 94,56 | 0,63 | 4,0 | 0 | 0 | |
| 76090 | -33,0 | 94,87 | 0,55 | 3,9 | 0 | 0 | 10 |
| 76104 | 0,0 | 92,95 | 0,45 | 6,8 | 5 | 8 | 9 |
| 76124 | 30,0 | 90,24 | 0,60 | 15,6 | 11 | 20 | 22 |
| 76200 | -10,0 | 90,27 | 1,20 | 33,5 | 31 | 57 | 60 |
| 76689 | 10,0 | 90,26 | 0,80 | 29,0 | 35 | 68 | 72 |
| 76800 | -10,0 | 90,22 | 0,80 | 25,7 | 32 | 64 | 66 |
| 76920 | 10,0 | 90,37 | 0,32 | 20,9 | 24 | 50 | 52 |
| 77346 | -0,5 | 91,71 | 0,67 | 21,0 | 28 | 50 | 53 |
| 77386 | -20,0 | 91,74 | 0,60 | 24,0 | 0 | 0 | |
| 77394 | 7,0 | 92,06 | 0,60 | 21,9 | 0 | 0 | |
| 77570 | 3,8 | 93,47 | 1,50 | 27,1 | 32 | 50 | 53 |
| 77744 | -16,5 | 100,96 | 0,85 | 16,6 | 2 | 9 | 10 |
| 77790 | 0,1 | 103,99 | 0,60 | 11,3 | 5 | 13 | 15 |
| 77808 | -21,4 | 103,24 | 1,50 | 10,8 | 4 | 27 | 31 |
| 77848 | -20,6 | 104,48 | 0,60 | 11,6 | 8 | 15 | 16 |
| 77910 | 10,7 | 107,96 | 0,60 | 9,0 | 2 | 24 | 28 |
| 77969 | 4,6 | 108,76 | 0,70 | 17,7 | 5 | 11 | 13 |
| 78000 | -33,3 | 108,82 | 0,80 | 9,8 | 5 | 12 | 15 |

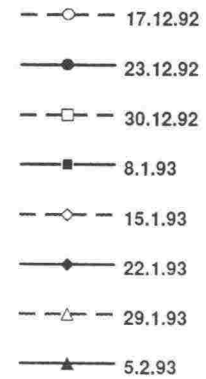
| Taulukko: Moottoritielinjan maanäytteet; Pintamaan luokitusominaisuuksia | | | | | | | sivu 4 |
|---|----------------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------------|----------------------|---------|
| Paalu lukema | etäisyys linjasta | maanp. korkeus | näyte syvyys | Vesipit. % | saviaines # 0.002 | hienoaines # 0.06 | # 0.074 |
| 78166 | -0,2 | 109,78 | 1,45 | 6,2 | 0 | 13 | 15 |
| 78205 | -4,7 | 108,89 | 0,95 | 28,9 | 3 | 60 | 73 |
| 78343 | -8,8 | 106,60 | 1,10 | 15,2 | 5 | 9 | 10 |
| 78382 | 0,4 | 105,60 | 0,60 | 14,3 | 3 | 8 | 9 |
| 78420 | -14,9 | 105,08 | 1,75 | 10,2 | 5 | 9 | 10 |
| 78460 | -15,0 | 103,88 | 0,75 | 17,6 | 5 | 8 | 9 |
| 78500 | -11,2 | 102,55 | 0,90 | 6,3 | 0 | 11 | 14 |
| 78880 | -3,0 | 88,65 | 1,00 | 39,5 | 32 | 58 | 60 |
| 78940 | 20,0 | 87,43 | 1,00 | 34,2 | 32 | 57 | 61 |
| 79032 | -49,0 | 87,75 | 0,75 | 22,5 | 0 | 0 | |
| 79745 | 10,2 | 80,67 | 0,60 | 0,0 | 0 | 0 | |
| 79865 | -20,0 | 82,05 | 0,75 | 23,8 | 0 | 0 | |
| 79896 | 9,0 | 81,50 | 2,00 | 23,7 | 16 | 28 | 30 |
| 80005 | -20,0 | 81,77 | 0,60 | 20,0 | 25 | 64 | 67 |
| 80100 | 40,0 | 82,02 | 0,75 | 52,9 | 0 | 0 | |
| 80205 | 10,0 | 83,16 | 0,70 | 25,9 | 22 | 55 | 60 |
| 80320 | 15,0 | 85,22 | 1,10 | 9,0 | 6 | 10 | 11 |
| 80360 | -20,0 | 88,34 | 0,62 | 23,6 | 6 | 8 | 9 |
| 80385 | 0,0 | 87,13 | 0,73 | 20,2 | 27 | 50 | 53 |
| 80440 | -20,0 | 86,83 | 0,75 | 18,0 | 2 | 4 | 5 |
| 80500 | -20,0 | 85,56 | 1,75 | 33,1 | 18 | 46 | 50 |
| 80540 | -20,0 | 85,23 | 1,75 | 31,1 | 20 | 54 | 60 |
| 80600 | -8,1 | 84,61 | 0,75 | 24,9 | 25 | 54 | 57 |
| 80605 | 11,9 | 84,22 | 0,75 | 23,6 | 15 | 36 | 41 |
| 80685 | 12,9 | 83,92 | 0,65 | 24,3 | 15 | 45 | 50 |
| 80740 | 10,0 | 84,26 | 0,75 | 31,1 | 20 | 50 | 54 |
| 80805 | -2,8 | 84,76 | 0,75 | 25,0 | 18 | 45 | 50 |
| 80880 | 20,0 | 87,54 | 1,75 | 32,6 | 16 | 50 | 55 |
| 80925 | 10,6 | 88,80 | 0,80 | 25,4 | 35 | 69 | 72 |
| 81060 | -20,1 | 91,04 | 0,60 | 8,2 | 0 | 0 | 10 |
| 81144 | 15,9 | 88,23 | 1,75 | 26,6 | 32 | 59 | 52 |
| 81230 | 0,0 | 85,36 | 0,50 | 21,9 | 27 | 52 | 55 |
| 81380 | 15,0 | 96,42 | 1,50 | 30,6 | 16 | 35 | 39 |
| 81560 | -10,0 | 89,02 | 0,60 | 12,7 | 5 | 8 | 9 |
| 81624 | 33,2 | 87,02 | 1,50 | 27,8 | 24 | 48 | 51 |
| 81680 | 10,0 | 86,73 | 0,50 | 27,1 | 26 | 45 | 48 |
| 81760 | 14,9 | 88,22 | 0,50 | 25,7 | 23 | 51 | 55 |
| 81824 | 10,4 | 89,09 | 0,75 | 24,3 | 15 | 39 | 42 |
| 81900 | 15,0 | 91,29 | 0,50 | 25,6 | 25 | 45 | 47 |
| 82400 | -1,4 | 95,22 | 1,50 | 6,3 | 3 | 8 | 9 |
| 82465 | 3,4 | 96,24 | 0,75 | 25,2 | 5 | 12 | 14 |
| 82545 | 2,3 | 101,86 | 0,75 | 0,7 | 0 | 0 | 7 |
| 82605 | 1,6 | 89,71 | 0,75 | 32,2 | 41 | 72 | 76 |
| 82780 | 0,0 | 82,96 | 0,50 | 25,5 | 37 | 62 | 65 |
| 82865 | 10,1 | 80,38 | 1,65 | 29,1 | 39 | 70 | 72 |
| 82905 | 25,0 | 80,37 | 5,02 | 42,4 | 37 | 72 | 73 |



TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 66200



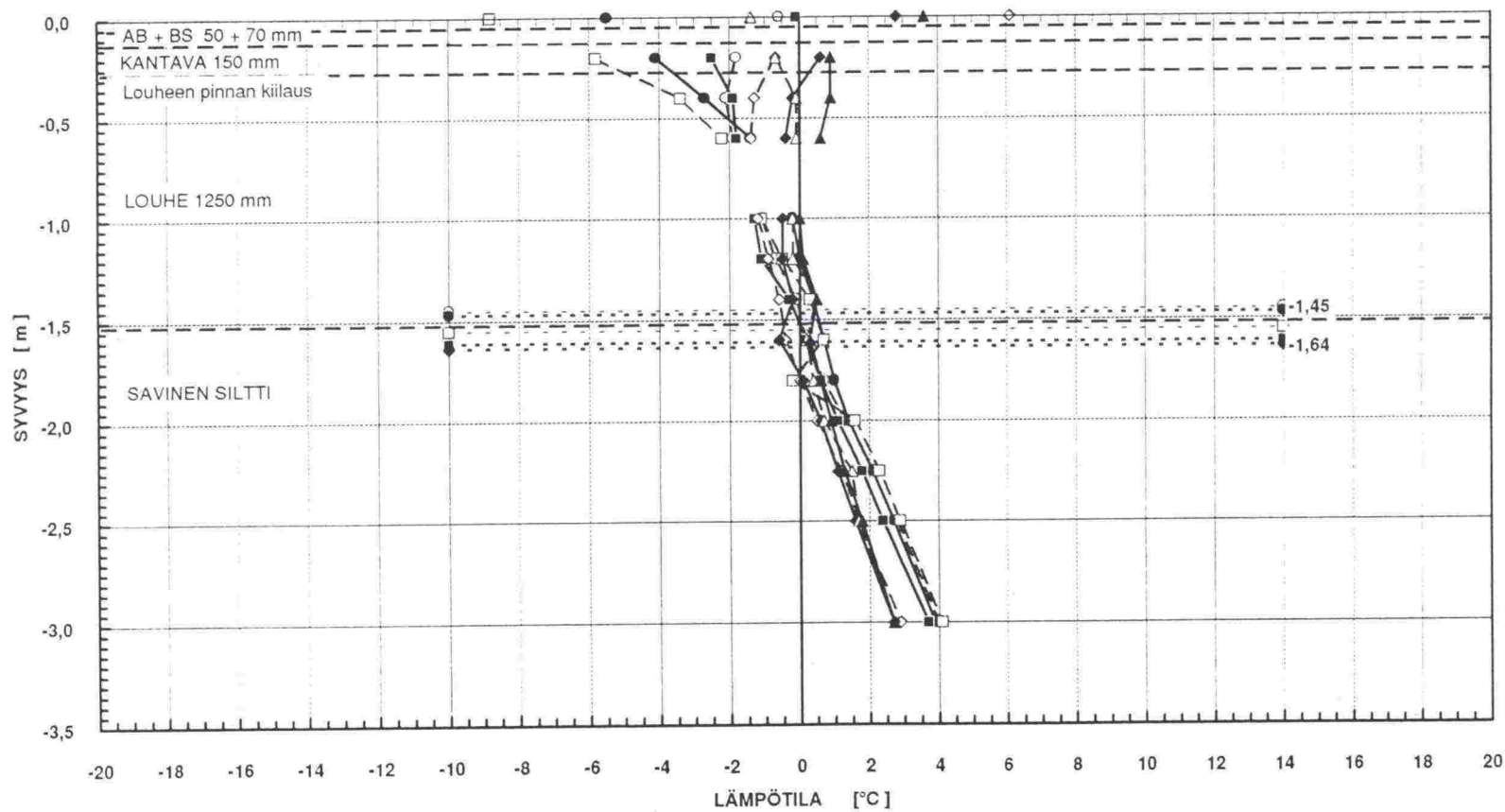
LÄMPÖTILAT



ROUDASYVYYDET



TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 66200



LÄMPÖTILAT

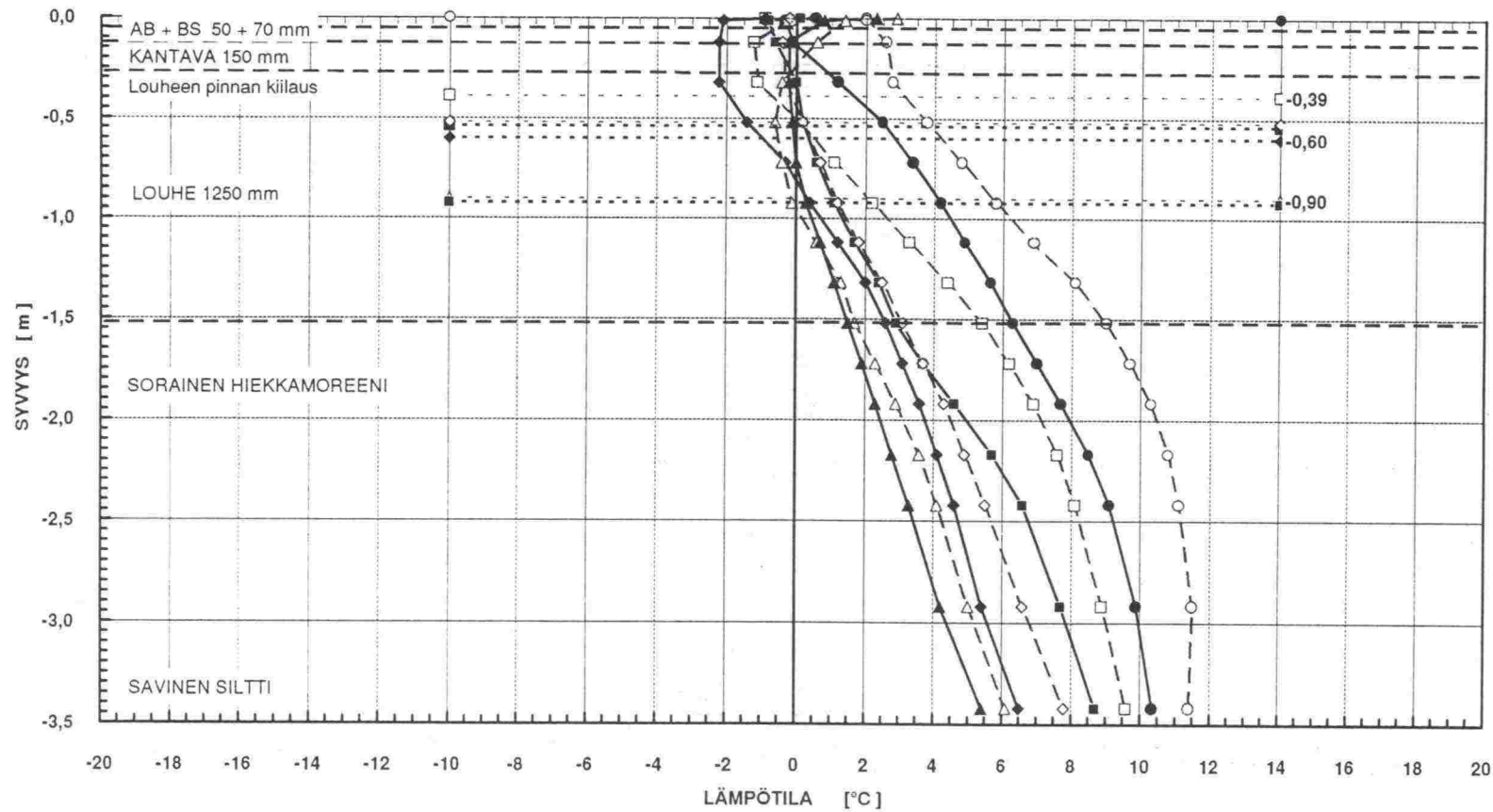
- 12.2.93
- 19.2.93
- 1.3.93
- 5.3.93
- ◇--- 15.3.93
- ◆--- 22.3.93
- △--- 29.3.93
- ▲--- 2.4.93

ROUDASYVYYDET

- 12.2.93
- 19.2.93
- 1.3.93
- 5.3.93
- ◇--- 15.3.93
- ◆--- 22.3.93
- △--- 29.3.93

---X---

TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 75120



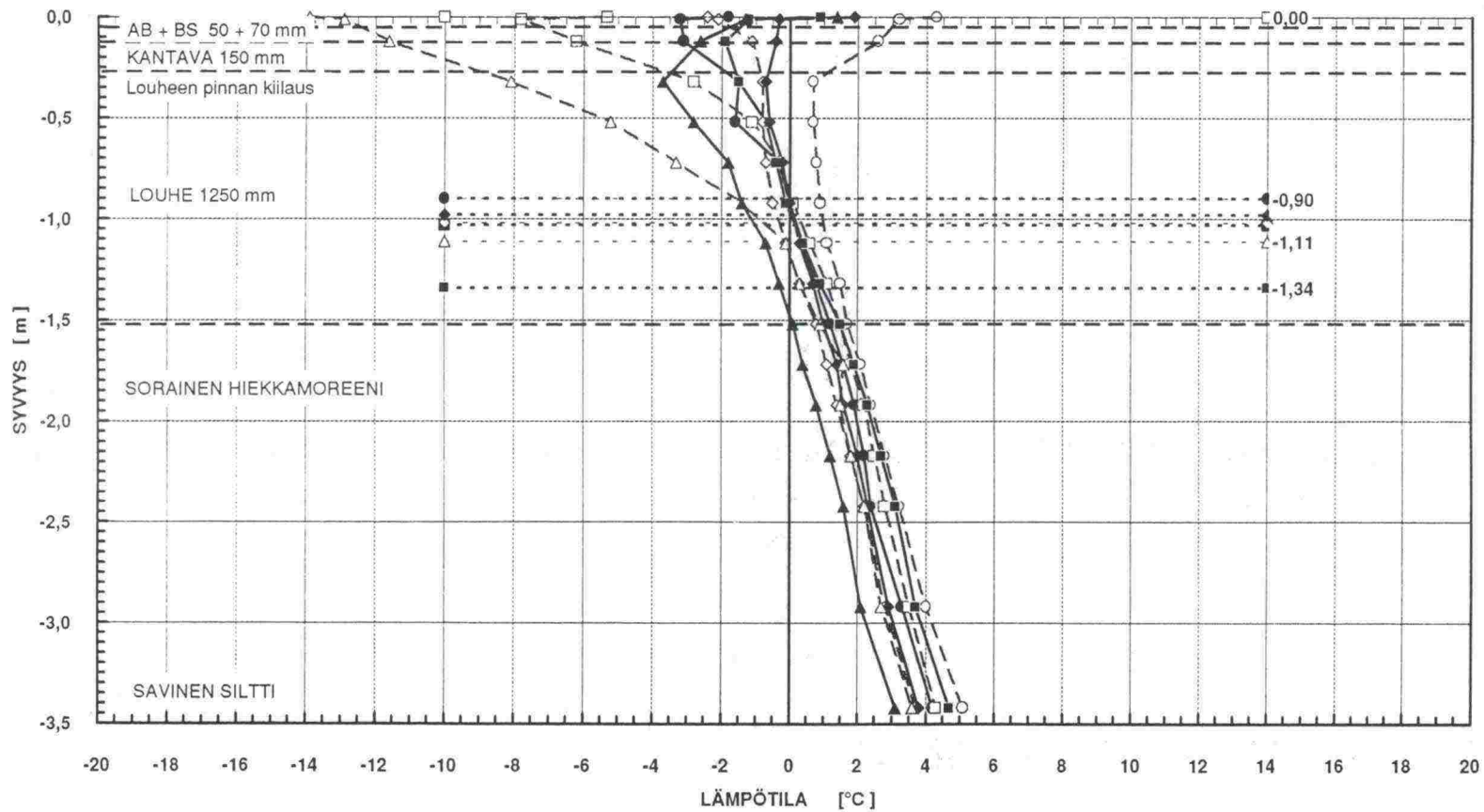
LÄMPÖTILAT

- 16.10.92
- 22.10.92
- 28.10.92
- 5.11.92
- ◇— 12.11.92
- ◆— 25.11.92
- △— 3.12.92
- ▲— 11.12.92

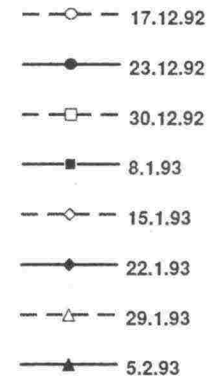
ROUDANSYVYYDET

- - ○ - - 16.10.92
- - ● - - 22.10.92
- - □ - - 28.10.92
- - ■ - - 5.11.92
- - ◇ - - 12.11.92
- - ◆ - - 25.11.92
- - △ - - 3.12.92
- - ▲ - - 11.12.92
- X—

TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 75120



LÄMPÖTILAT



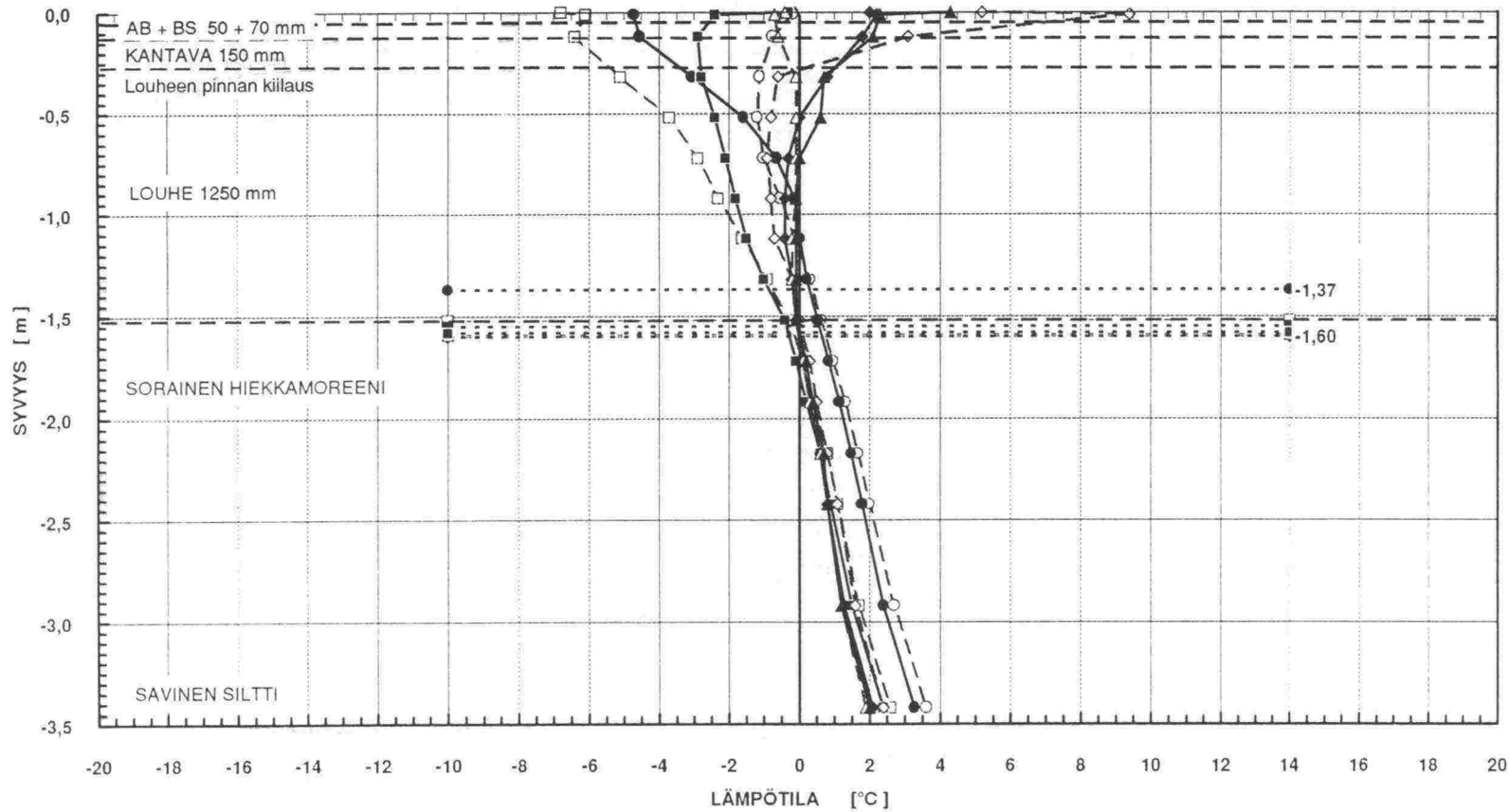
ROUDANSYVYYDET



Valtatie 3 routamitoitus routanousun mukaan

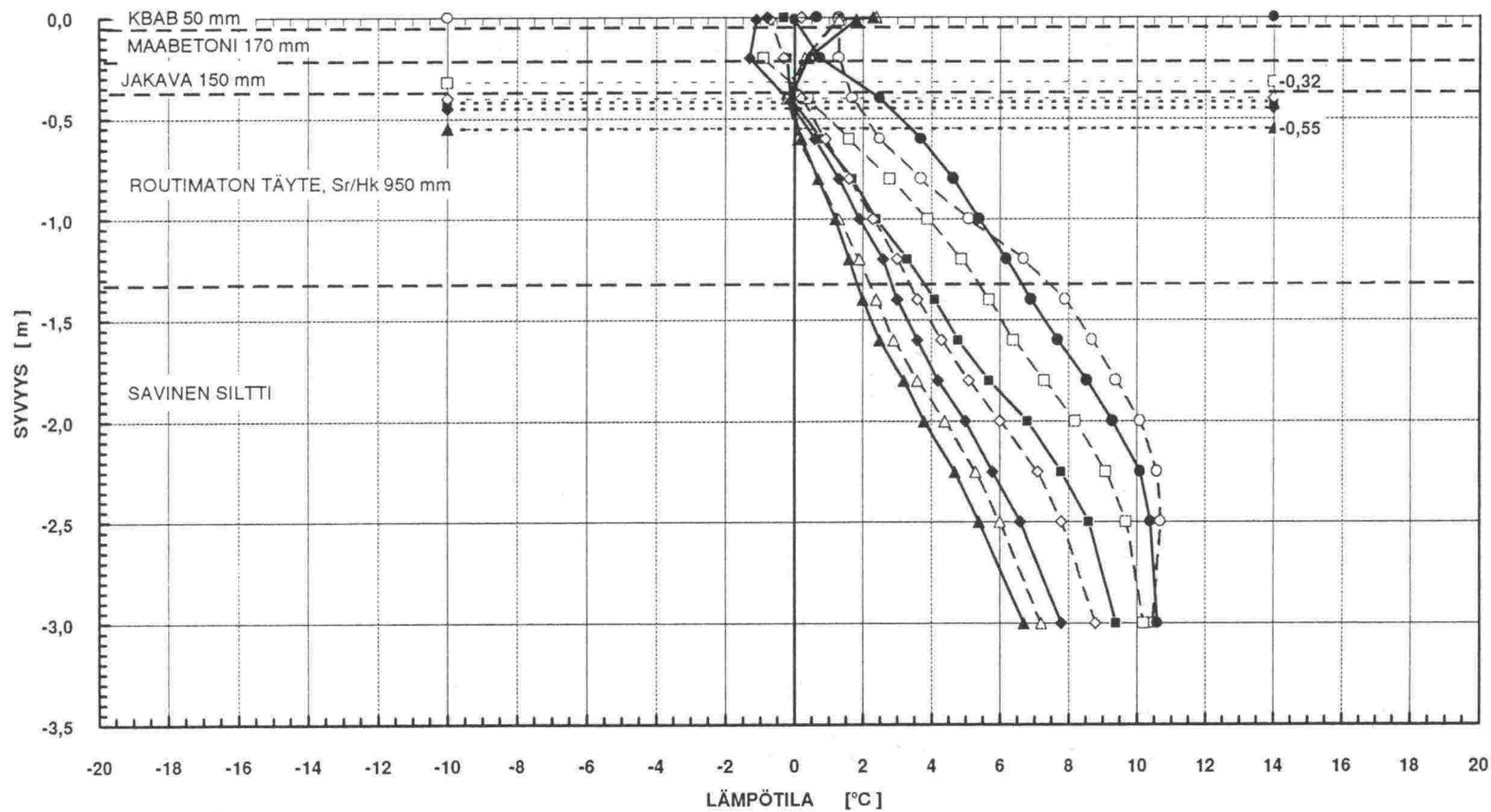
LITE 15/2

TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 75120



VTT/TGL

TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 76820



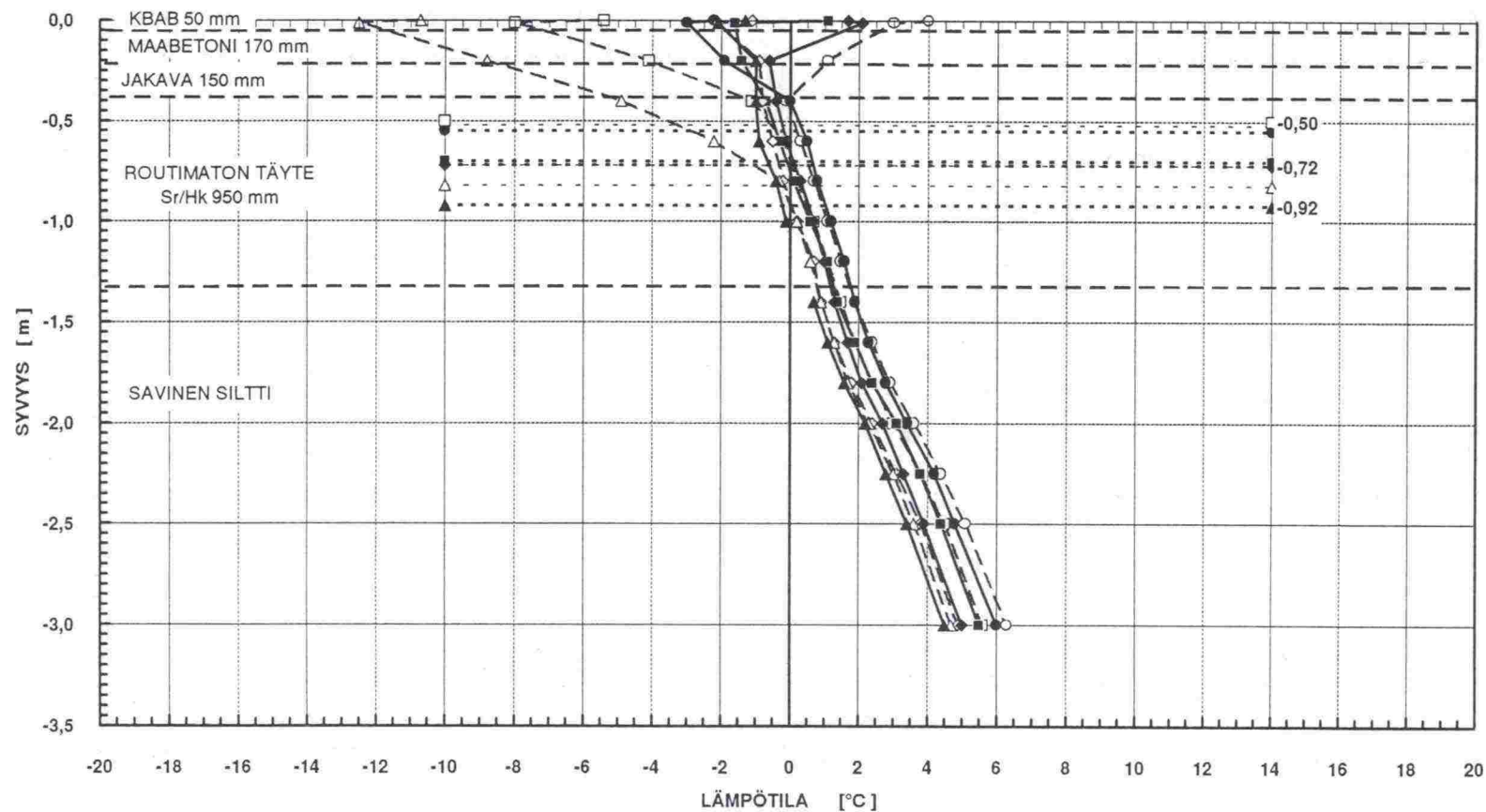
LÄMPÖTILAT

- 16.10.92
- 22.10.92
- 28.10.92
- 5.11.92
- ◇— 12.11.92
- ◆— 25.11.92
- △— 3.12.92
- ▲— 11.12.92

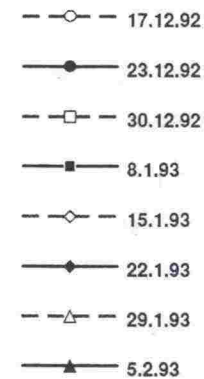
ROUDASYVYYDET

- - ○ - - 16.10.92
- - ● - - 22.10.92
- - □ - - 28.10.92
- - ■ - - 5.11.92
- - ◇ - - 12.11.92
- - ◆ - - 25.11.92
- - △ - - 3.12.92
- - ▲ - - 11.12.92
- x—

TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 76820



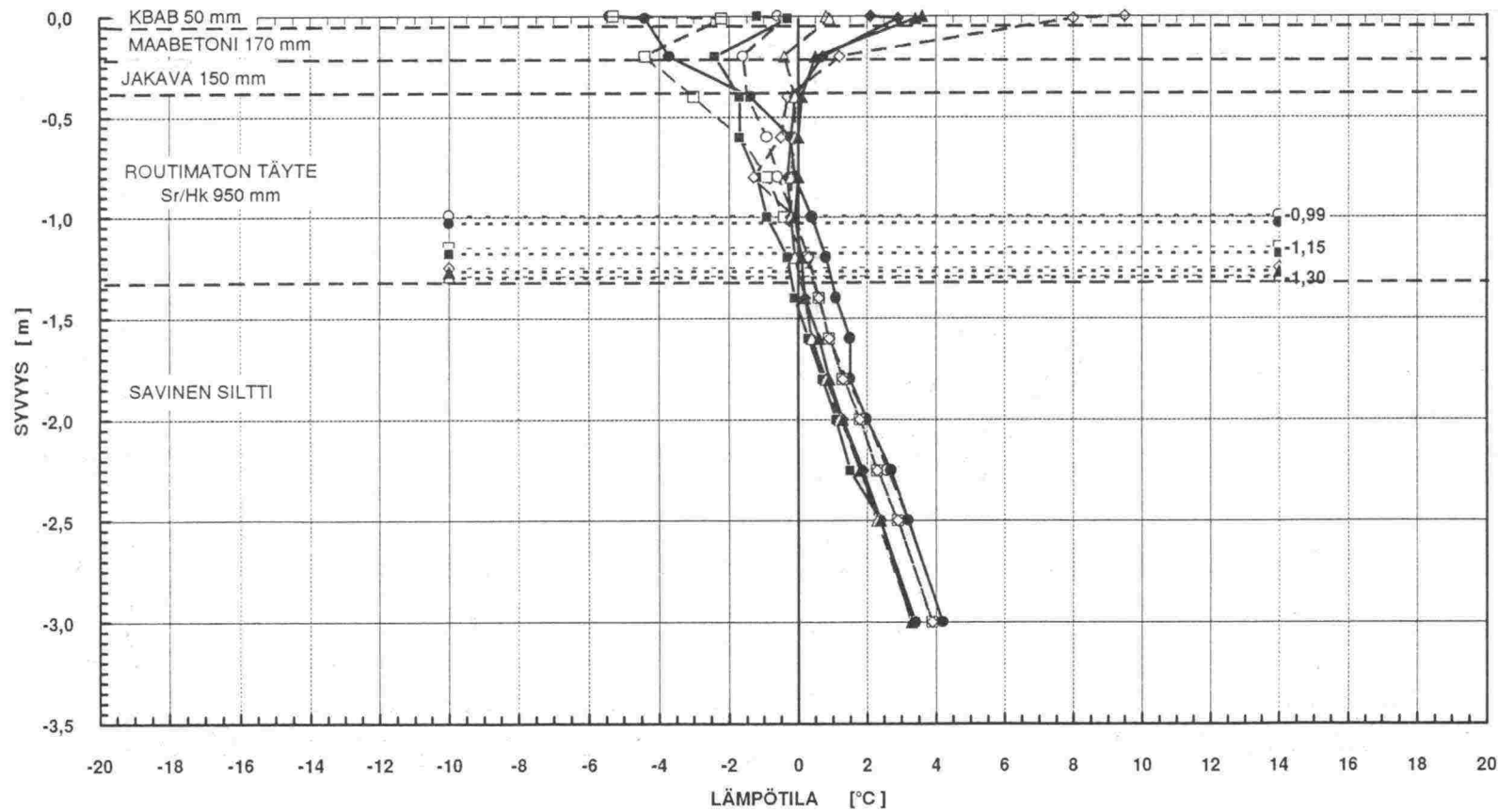
LÄMPÖTILAT



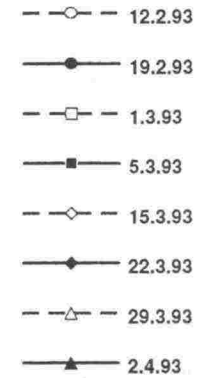
ROUTASYVYYDET



TIERAKENTTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 76820



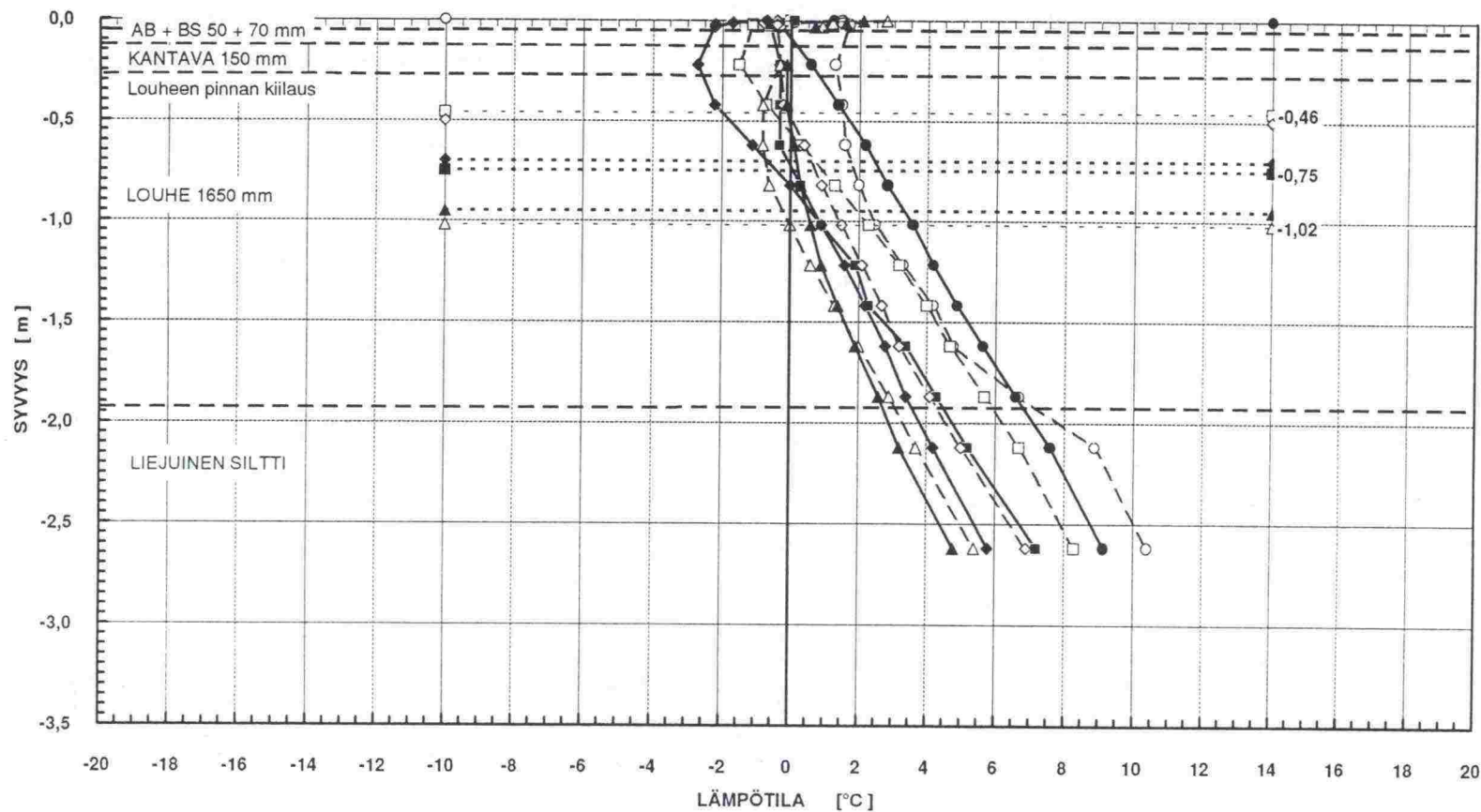
LÄMPÖTILAT



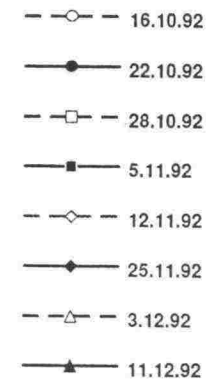
ROUDANSYVYYDET



TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 79500



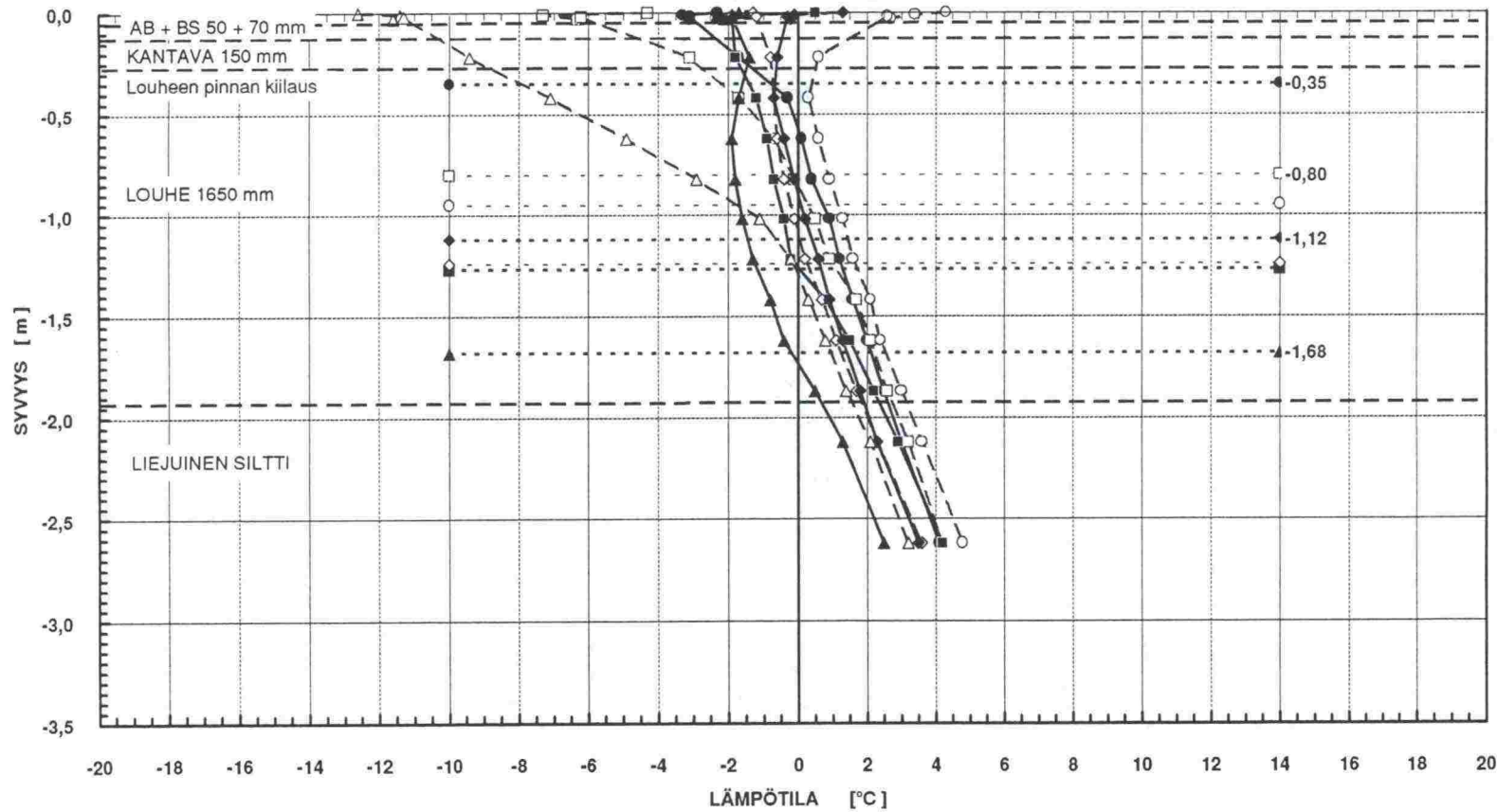
LÄMPÖTILAT



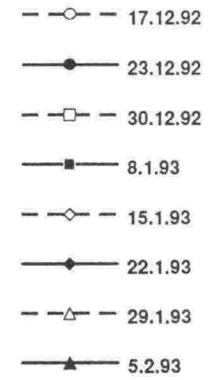
ROUDASYVYYDET



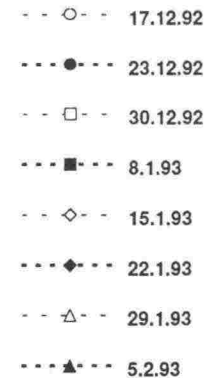
TIERAKENTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 79500



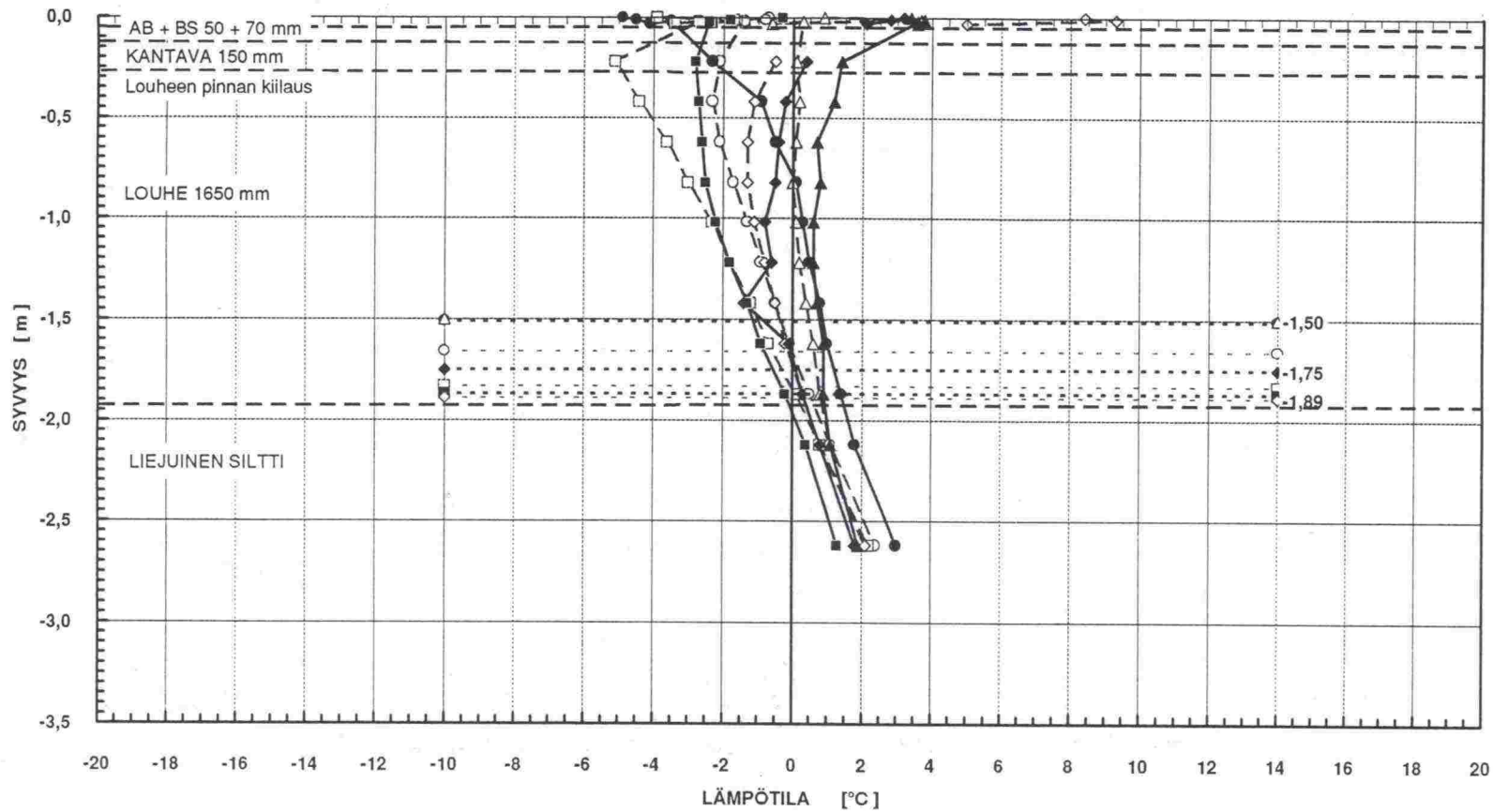
LÄMPÖTILAT



ROUDASYVYYDET



TIERAKENTTEEN LÄMPÖTILAPROFIILI JA ROUDANSYVYYDET TALVELLA 1992 - 93
VT 3, RIIHIMÄKI P. - VIRALA
PL 79500



VTT/TGL

TIEHALLITUKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 5/1991 Massanvaihdon korvaaminen moreenitukiseinällä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 6/1991 Havupuuhaake pengertäytteenä. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 13/1991 Tieverkkojen asentaminen, käytännön ohjeita. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 16/1991 Asfalttimassan suhteitus Marshal-menettelmän mukaan. Geopalvelukeskus
- 17/1991 Murskeen muodonmuutosominaisuudet tien rakennekerroksissa. Geopalvelukeskus
- 23/1991 Betonipäällysteiden seuranta; Raportti suunnittelusta ja rakentamisesta. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 32/1991 Moreenin käyttö tierakenteissa. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 39/1991 Koerakenteita turve- ja selttipehmeikölle. Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö
- 20/1992 Vanhojen tienrakennekerrosten uudelleen käyttö. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 26/1992 Kalliomurskeiden käyttö sitomattomissa rekennekerroksissa, esiselvitys. Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö
- 42/1992 Pehmeikölle perustettavan tiepenkereen geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 43/1992 Pehmeikölle rakennettavien tieleikkausten geotekniset laskelmat. Geopalvelukeskus
- 44/1992 Saven varaan perustetut alikulkukäytävät. Geopalvelukeskus

TIELAITOKSEN SISÄISIÄ JULKAISUJA

- 32/1993 V-poikkileikkaus ja teräsverkot tierakenteissa; Tulokset V-poikkileikkauksen ja teräsverkkojen käyttökokeista tien pituussuuntaisten halkeamien ehkäisyssä. TIEL 4000043

TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA

- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti. TIEL 3100005

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1992 Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset; laadunvalvonta ja testausmenetelmät. TIEL 3200057
- 31/1992 Pohjaveden maatiivistesuojan tiivistäminen. TIEL 3200086
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje. TIEL 3200099
- 62/1992 Hienoaineksen vaikutus stabiloidun moreenimurskeen pakkaskestävyyteen. TIEL 3200112
- 68/1992 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT), perussuunnitelma. TIEL 3200118
- 69/1992 Rakennettujen ja perusparannettujen teiden tasaisuus. TIEL 3200119
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys Laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/Laser). TIEL 3200134

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 1/1993 Arktinen tienrakentaminen. TIEL 3200121
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200144
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. TIEL 3200145
- 20/1993 Moreeni ja sen käyttö. TIEL 3200146
- 26/1993 Bentonittimattojen ja muovikavojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen, tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämmöneristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta. TIEL 3200161
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Dipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 59/1993 Valtatien 3 routamitoitus routanousun mukaan välillä Riihimäki P - Virala. TIEL 3200184
- 60/1993 Jännitys- ja muodonmuutosmittaukset tierakenteessa 1991-1992; Pohjaveden pinnan vaikutus, tienpinnan taipumamittaus eri lämpötiloissa, vertailu standardi paripyörä - Neste Oy:n kantavuusradan pyörä. TIEL 3200185
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset laatuvaatimukset. TIEL 3200193
- 71/1993 Nonwoven Geotextiles in Road Constructions. TIEL 3200193E

Geotekniikan informaatiojulkaisuja:

- 2/1993 Massanvaihto. TIEL 3200127
- 21/1993 Pengerpaalutus. TIEL 3200147
- 23/1993 Pohjanvahvistusmenetelmän valinta. TIEL 3200149
- 24/1993 Tiegeotekniikan yleiset mitoituserusteet. TIEL 3200150